



**ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA ÖZELLİKLİ NANO MALZEME KATKILI
YAPI MALZEMELERİNİN ÜRETİMİ**

ÖZER DURMAZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Aylin AKYILDIZ

2022

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA ÖZELLİKLİ NANO MALZEME KATKILI
YAPI MALZEMELERİNİN ÜRETİMİ

ÖZER DURMAZ

ORCID: 0000-0002-3340-7056

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Aylin AKYILDIZ

OCAK-2022

Her hakkı saklıdır.

ÖZET

ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA ÖZELLİKLİ NANO MALZEME KATKILI YAPI MALZEMELERİN ÜRETİMİ

Özer DURMAZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Aylin AKYILDIZ

Ülkemizde yapı sektöründe temel malzeme olan betonun endüstriyel üretimi son zamanlarda hızlı bir gelişim ve yaygınlaşma sürecine girmiştir. Beton; agrega, çimento, su ve gerektiğinde bazı katkı maddelerinin karıştırılmasıyla elde edilen bir yapı malzemesidir. Teknolojideki gelişmeler, bilim insanlarına malzemeleri en küçük boyutlarda inceleme, irdeleme ve üretme imkânı vermiştir. Yakın geçmişteki teknolojik gelişmelerin sunduğu makro ve mikro inceleme teknikleri sayesinde daha mümkün olmuştur. Dolayısıyla, nano bilimdeki gelişmeler yapı malzemesi alanında önemli etkiler yaratmıştır. Bunlardan biri de nano malzemelerin beton teknolojisi üzerindeki etkileridir. Nano teknolojiden faydalanılarak üretilen bazı nano malzemeler de beton teknolojisinin gelişmesindeki etkin rol oynamıştır. Nano teknoloji, çok amaçlı akıllı malzemelerin üretilmesi için bize yardımcı olmaktadır. Bu çalışmada yapılarda kullandığımız malzemelerin, çok amaçlı özelliklere sahip yeni tip malzemeleri geliştirmek hedeflenmiştir. Nano malzemenin katkı oranlarını belirlemek ve harç üzerine etkisinin araştırılması önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmanın sonucunda karbon nano tüp katkı oranı yüzdesi arttıkça elektromanyetik kalkanlamanın oluştuğu elektromanyetik kirliliğin ise kısmen engellendiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Agrega, Beton, Elektromanyetik Kirlilik, Nano Malzeme, Nano Teknoloji

ABSTRACT

PRODUCTION OF CARBON NANO MATERIALS DOPED BUILDING MATERIALS WITH ELECTROMAGNETIC SHIELDING

Özer DURMAZ

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Aylin AKYILDIZ

Industrial production of concrete, that is the basic material in the construction sector in our country, has lately entered a rapid development and expansion process. Concrete aggregate is a building material obtained by mixing cement, water and, if necessary, some additives. Advances in technology have also given scientists the opportunity to examine, scrutinize and produce materials in the smallest dimensions. It has developed because of the macro and micro examination techniques offered by the technological developments in the recent past. Therefore, developments in nanoscience have had significant effects in the field of building materials. One of them is the effects of nanomaterials on concrete technology. Some nano materials produced by using nano technology have also taken an active role in the development of concrete technology. Nanotechnology is helping us to produce multipurpose smart materials. This study aims to develop new types of materials with multi-purpose properties that we use in buildings. Moreover, it is important to determine the additive ratios of nanomaterials and to investigate the effect on the mortar. As a result of this study, it was concluded that electromagnetic shielding was formed as the percentage of carbon nano tube contribution increased, and electromagnetic pollution was partially prevented.

Keywords: Aggregate, Concrete, Electromagnetic Pollution, Nanomaterial, Nano Technology

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER DİZİNİ.....	vii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
TEŞEKKÜR.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	2
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	7
2. ELEKTROMANYETİKLİK VE KALKANLAMA ÖZELLİKLERİ.....	9
2.1 Elektromanyetik Kalkanlama Özellikleri.....	9
2.1.1 Kalkanlama Teorisi.....	9
2.2 Elektromanyetik Kalkanlama Özelliğine Sahip Malzemeler.....	10
2.2.1 Metaller	10
2.2.2 Metal Folyolar	11
2.2.3 Elektromanyetik Kalkanlama Kumaşları.....	11
2.2.4 Gözenekli Metaller	12
2.2.5 Elektromanyetik Kalkanlama Boya ve Kaplamaları.....	12
2.2.6 Karbon Nano Tüp	13
2.2.6.1 Tek Duvarlı Karbon Nano Tüp.....	13
2.2.6.2 Çok Duvarlı Karbon Nano Tüp.....	14
3. NANO MALZEMELER.....	16
3.1 Nano Malzeme Üretimi	16
3.1.1 Yukarıdan Aşağıya Doğru (Top Down)	17
3.1.2 Aşağıdan Yukarıya Doğru (Bottom Up).....	17
3.2 Nano Teknolojinin Kullanım Alanları	18
3.2.1 Yapı Sektöründe Nano Malzeme Kullanımı	19
4. MATERYAL VE METOD	21
4.1 Materyal	21
4.1.1 Nano Malzeme	21

4.1.2 Çimento	23
4.1.3 İnce Agrega.....	24
4.2 Metod	25
4.2.1 Karışımların Hazırlanması.....	25
4.2.2 Taze ve Sertleşmiş Harç Deneyleri	26
4.2.2.1 Yayılma deneyi.....	26
4.2.2.2 Ultrases geçiş hızı deneyi.....	26
4.2.2.3 Eğilme dayanım deneyi.....	27
4.2.2.4 Basınç dayanım deneyi.....	28
4.2.2.5 Su emme tayini.....	29
4.2.2.6 Elektromanyetik kalkanlama testi.....	29
4.2.2.7 Mikro yapı incelemeleri.....	31
5. ARAŞTIRMA BULGULARI	32
5.1 Yayılma Deneyi	32
5.2 Ultrases Geçiş Hızı Deneyi	32
5.3 Eğilme Dayanım Deneyi	34
5.4 Basınç Dayanım Deneyi	35
5.5 Su Emme Deneyi	36
5.6 Elektromanyetik Kalkanlama Deneyi	38
5.7 Mikro Yapı İncelemeleri	42
6. SONUÇLAR.....	45
KAYNAKLAR	47

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Bazı metallerin iletkenlikleri.....	11
Çizelge 3.1. Yapılarda kullanılan nano malzemelerden örnekler.....	20
Çizelge 4.1. Karbon nano tüp teknik özellikleri.....	22
Çizelge 4.2. Çimentonun kimyasal bileşimi ve fiziksel deney sonuçları.....	24
Çizelge 4.3. Rilem kumu granülometrisi.....	24
Çizelge 4.4. Harç karışım oranları.....	25
Çizelge 4.5. Ultrases geçiş hızları ile beton kalitesi arasındaki bağıntı.....	27
Çizelge 5.1. Ultrases geçiş hızı deney verileri.....	32
Çizelge 5.2. Eğilme dayanımı deney sonuçları.....	34
Çizelge 5.3. Basınç dayanımı deney sonuçları.....	35
Çizelge 5.4. Numunelere ait su emme yüzdeleri.....	37

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Taneciğe gelen dalganın durumu.....	5
Şekil 1.2. Malzeme içindeki dalga mekanizması.....	6
Şekil 2.1. Kalınlığı t olan bir duvarda ekranlama aktivitesi bileşenleri	10
Şekil 2.2. Tek sıra karbon atomundan oluşan bir grafın katmanı.....	14
Şekil 2.3. Tek duvarlı karbon nano tüp.....	14
Şekil 2.4. Çok duvarlı karbon nano tüp.....	15
Şekil 4.1. Karbon nano tüpe ait sem görüntüsü.....	22
Şekil 4.2. Deneyde kullanılan karbon nano tüp.....	23
Şekil 4.3. Deneyde kullanılan çimento.....	23
Şekil 4.4. Deneyde kullanılan rilem kumu.....	25
Şekil 4.5. Ultrasonik test cihazı.....	27
Şekil 4.6. Eğilme deney düzeneği.....	28
Şekil 4.7. Basınç dayanım deney düzeneği.....	29
Şekil 4.8. Kuru yüzey doygun ağırlığı deney aşamaları.....	29
Şekil 4.9. Network Analyzer cihazında kalkanlama ölçüm numuneleri.....	30
Şekil 4.10. Elektromanyetik kalkanlama deney düzeneği.....	31
Şekil 5.1. Numunelerin ultrases geçiş hızı.....	33
Şekil 5.2. Numunelerin eğilme dayanımları.....	34
Şekil 5.3. Numunelerin basınç dayanımları.....	36
Şekil 5.4. Numunelerin su emme yüzdeleri.....	37
Şekil 5.5. NM0 Numunelerin elektromanyetik kalkanlama grafiği.....	39
Şekil 5.6. NM1 Numunelerin elektromanyetik kalkanlama grafiği.....	39
Şekil 5.7. NM2 Numunelerin elektromanyetik kalkanlama grafiği.....	40
Şekil 5.8. NM3 Numunelerin elektromanyetik kalkanlama grafiği.....	40
Şekil 5.9. Tüm numunelerin elektromanyetik kalkanlama grafiği.....	41
Şekil 5.10. NM0 numunesine ait sem görüntüsü.....	43
Şekil 5.11. NM1 numunesine ait sem görüntüsü.....	43
Şekil 5.12. NM2 numunesine ait sem görüntüsü.....	43
Şekil 5.13. NM3 numunesine ait sem görüntüsü.....	44

SİMGELER DİZİNİ

μM	Mikromolar
μm	Mikrometre
C_3A	Trikalsiyumaluminat
dB	Desibel
GHz	Gigahertz
MHz	Megahertz
T_iO_2	Titanyum Dioksit



KISALTMALAR DİZİNİ

EE	Ekranlama Etkinliği
EM	Elektromanyetik
EMA	Elektromanyetik Alan
EMK	Elektromanyetik Kalkanlama
EMSE	Elektromanyetik Ekranlama Etkisi
EPS	Genleştirilmiş Polistiren Sert Köpük
PP	Polipropilen
SE	Shielding Efficiency



TEŞEKKÜR

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi'nde yapmış olduğum bu tezde, elektromanyetik kalkanlama özellikli nano malzeme katkılı yapı malzemelerinin üretimi konu başlıklı bilimsel çalışmamda varmış olduğum sonuçları elektromanyetik kirliliği önlemede faydalı olması adına paylaşmaktayım. Bu süreçte ve yapmış olduğum yüksek lisans eğitimimde benden desteklerini esirgemeyen, değerli Dr. Öğr. Üyesi Aylin AKYILDIZ' a başta olmak üzere, çalışmalarımın çeşitli aşamalarında destek olan saygı değer Öğr. Gör. Dr. Ufuk ÇETİN hocama ve Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi İnşaat Mühendisliği'ndeki saygı değer hocalarıma, teşekkürlerimi sunarım. Tez sürecinde ana materyal olan karbon nano tüp malzemesi Nanografi Nano Teknoloji A. Ş. tarafından temini sağlandığı için teşekkürlerimi sunmaktan onur duyarım. Ayrıca yüksek lisans eğitimim de beni cesaretlendiren, okula benimle birlikte gelip yetmeyip derslerime eşlik eden, eğitimim süresince bana her konuda destek olan sevgili eşim Damlanur DANIŞ DURMAZ' a ve beni yetiştiren değerli aileme müteşekkirim.

Özer DURMAZ

İnşaat Mühendisi

1. GİRİŞ

Son zamanlarda, gelişen teknoloji ile birlikte değişen yaşam biçimi, refah seviyesindeki artış ve çağdaş yaşam koşullarının neticesinde günlük hayatımızda elektrikli aletlerin kullanımına bağlı radyasyona maruz kalma oranı artmıştır. Buna bağlı olarak günümüzde yaygın olarak kullanılan cep telefonları başta olmak üzere, notebooklar, fön makineleri, kurutma makineleri, x-ray cihazları, ısıtıcılar, soğutucu ve elektrikli tüm ev, ofis eşyaları, motorlu taşıtlar, akıllı telefon, buzdolabı, çamaşır makinesi, elektrik süpürgesi, tablet ve daha birçok elektrik ile gücünü alan cihazlar ve sistemler çalışırken çevreye elektromanyetik radyasyon yaymaktadırlar (Palamutçu ve Dağ, 2009). Geçmişten günümüze inşaat sektöründe kullanılan malzemelerin bu yayılımı absorbe etme özellikleri oldukça zayıftır.

Elektrik yüklerinin hareketinden doğan, elektrik ve manyetik alanlarına sahip olan elektromanyetik enerji içeren kuvvet alanına “elektromanyetik alan” denir. Elektronik haberleşme ağları, radyo ve televizyon vericileri, uydu iletişim sistemleri, askeri hava savunma sistemleri, radarlar, otomobil ateşleme sistemleri, iş makineleri, evlerde kullanılan elektrikli ve elektronik cihazlar, tıbbi cihazlar, cep telefonları, baz istasyonları, bilgisayarlar ve kullandığımız tüm elektrikli cihazlar ve sistemler çalışır iken kasıtlı ya da kasıtlı olmadan elektromanyetik alan oluşturmaktadır (Sevgi, 2000).

Özellikle savunma ve stratejik önemi bulunan yapıların elektromanyetik casusluk ve saldırılardan korunmasının yanı sıra hayalet uçak teknolojileriyle radar görünürlüğü düşük savaş teknolojileri elektromanyetik kalkanlamaların çalışma alanına girmektedir. Avcı uçaklar, bombardımanda bulunmak için üretilen hava araçları, multi rol hava araçları, insansız hava araçları için en önemli özellik gizlilik (Chao ve Yang, 2015). Uçak, füzeler ve savaş gemileri için radara karşı görünmezlik; boya, kaplama ve kompozit malzemeler ile sağlanabilmektedir. İletkenliği bulunmayan düşük yansıtıcı özelliği bulunan dielektrik maddeler ile absorbe eden materyaller de radar görünmezliği konusunda kullanılmaktadır (Gac, Young ve Migliori, 1996). Bunun yanı sıra bu tür savaş araçlarının fiziksel geometrik optik kurallarına göre dış tasarımının yapılması önemlidir. Dalganın frekansı yükseldikçe fiziksel olarak ışık benzetimi yapılması ile oluşturulan tasarımlar düşük radar izi konusunda çok önemlidir (Liangliang, Kuizhi, Weigang ve Dazhao, 2016).

1.1 Literatür Özeti

Yawen ve ark (2010) yaptıkları çalışmada, çimentoya eklenmiş siyah karbonun yansıtıcı etkisi ile kalkanlama etkisini ölçmüşlerdir (Yawen, Mingqing, Chenguo ve Zhuoqi, 2010). Siyah karbonun kalkanlama konusunda kullanmalarının sebeplerinden birisi ucuz ve elde edilmesinin kolay bir malzeme olmasıdır. Bu çalışmada, çimentoya siyah karbon ekleme oranına göre kayıpları tespit etmişlerdir. En iyi sonuç, %2.5 oranında ekleme yapılan numunede -20 dB zayıflama sağlamışlardır. %0.5 oranında eklemede ise numunede en yüksek 18 GHz'de -15 dB zayıflama elde etmişlerdir. %3 ekleme oranında ise numunede en yüksek değer olarak 25 GHz'de -14 dB zayıflama sağlamışlardır. %1.5 katkılı siyah karbon oranındaysa en düşük kalkanlama performansına ulaşmışlardır. (Yawen vd., 2010).

Elektromanyetik dalga absorblama teknolojisinin gelişmesiyle (dielektrik /manyetik malzemeler, iletken polimerler gibi) geniş çeşitlilikte malzemeler ilgi odağı olmuştur. Özellikle karbon bazlı malzemeler (grafen, karbon siyahı, karbon nano tüpler gibi) yüksek iletkenlik, düşük ağırlık ve gösterdikleri uygun mekanik, kimyasal ve elektriksel özellikler nedeniyle elektromanyetik kalkanlama (EMK) uygulamalarında tercih edilmektedir (Nayak, Chaki ve Khastgir, 2014).

Demirkurt ve diğerleri bor karbür - epoksi (Tubicoat CRO) kullanarak kumaş bazlı tekstil ürünlerini kompozit olarak hazırlamışlardır. Hazırlanan numunelere 1.9-2.9 GHz aralığında farklı frekanslar uygulamışlardır. Yapılan deneyler sonucunda bor karbür katkılı kompozit kumaşların 10 dB'in üzerinde elektromanyetik kalkanlama için pozitif sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir (Demirkurt, Dayık ve Cakmak, 2014).

Diğer bir çalışmada, Zhu ve arkadaşları tekstil endüstrisinde örme kumaşların elektromanyetik kalkanlama varlığını araştırmışlardır. Deneyleri sonucunda elektromanyetik kalkanlama için en uygun maddenin örme kumaşlar için "metal" olduğunu bulmuşlardır. Yaptıkları deneyler ile örme kumaştaki metal lif içeriği arttıkça elektromanyetik dalgaların daha yüksek oranda geri yansıdığını, soğurma özelliğinin ise daha fazla gerçekleştiğini ayrıca kumaştaki katman sayısının, m²'deki metal lif yoğunluğunun ve uygulanan örgü türünün de kalkanlamayı etkilemiş olduğunu gözlemlemişlerdir. Yapmış oldukları çalışmalar sonucunda uygun şartlarda (konforlu, deliksiz, dikiş miktarı az) metal lifler içeren örme kumaşlar ile 90 dB'den daha çok kalkanlama özelliğine sahip koruyucu kıyafet üretiminin gerçekleştirilebileceği gözlemlemişlerdir (Zhu, Li ve Sun, 2012).

Luo ve Chung kesintisiz karbon lifleri, karbon matris ile polimer matris kompozit sistemlerinin elektromanyetik kalkanlama özelliğini incelemiştir. Araştırmalarına göre kesintisiz karbon lifleri kapsayan kompozitlerin elektromanyetik kalkanlama özelliklerinin kesintili karbon liflerinden daha iyi olduğuna varmışlardır. Yaptıkları çalışmaya göre, karbon matris içeren kesintisiz karbon lif kompoziti epoksi matris içeriğine sahip kompozite nazaran daha kalkanlayıcı, daha yansıtıcı ve daha geçirgen olduğu sonucuna varmışlardır. Elektromanyetik kalkanlama özelliğinin 0.3 MHz-1.5 GHz frekans aralığında 124 dB'e kadar çıktığını elde etmişlerdir (Luo ve Chung, 1999).

Cheng ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, örme kumaşlara polipropilen (PP) katkılı cam/bakır liflerini ilave ederek elektromanyetik kalkanlama özelliklerini incelemiştir. Yaptıkları çalışmada polipropilen lifi ilk fazda ve takviye malzemesi olarak cam lifi kullanmışlardır. Kullanmış oldukları bakır tellerle kumaşa elektromanyetik kalkanlama özelliği kazanması için ilave etmişlerdir. Kumaşların değişik örme şekilleri ve farklı madde içeriğine göre A-B (bakır/cam/PP), C (bakır/PP), G (cam/PP) ve PC (PP) olmak üzere değerlendirmişlerdir. 300 kHz-3 GHz frekans aralığında yapmış oldukları testte bakır içeren kumaşların (A, B, C) elektromanyetik kalkanlama değerinin daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır (Cheng, Ramakrishna ve Lee, 2000).

Çeken ve arkadaşları yapmış oldukları bu çalışmada; çoğunlukla binalarla otomobilde ses yalıtımını sağlamak amacıyla kullanılmakta olan tekstil bazlı atıkların geri dönüşümünden sağlanan dokusuz yüzeyli kumaşları kullanmışlardır. Elde ettikleri bu kumaşları 2 kPa basınç altında 9.15 mm kalınlığında 1130.17 g/m^2 değerinde üretmişlerdir. Bu yüzeyler arasına 1.5 ile 3 cm uzunluğunda, 0.1 mm çapındaki bakır telleri kesip yerleştirmişlerdir. Deney sonucuna göre; P1 (toplamda 30 gram 1.5 cm uzunluğunda bakır telleri içermekte) ve P2 (toplamda 60 gram 1.5 cm uzunluğunda bakır telleri içermekte) numuneler kıyaslandığında yoğunluğun daha iyi kalkanlama getirdiğini ve P2 numunesinin ortalama 10 dB seviyesinde ve 1575 - 2475 Mhz aralığında daha yüksek EMSE değerlerine sahip olduğu sonucuna varmışlardır. P3 (toplamda 30 gram 3 cm uzunluğunda bakır telleri içermekte) ve P4 (toplamda 60 gram 3 cm uzunluğunda bakır telleri içermekte) numuneleri kıyasladıklarında ise yoğunluğun artması ile kalkanlama etkisinin arttığını ve özellikle P4 numunesinin 1125-1575 Mhz aralığında kalkanlamada fazla bir artış gösterdiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca aynı ağırlıkta ama değişik uzunluktaki bakır tellerden üretilen numuneleri karşılaştırdıklarında, uzun bakır teli bulunan numunenin daha fazla kalkanlama özelliği ortaya koyduğunu

vurgulamışlardır. Bunun nedeni ise bakır tellerin uzamasıyla birbirine temas ihtimallerinin artmış olması durumunun doğurduğu iletkenlik artışına bağlamışlardır (Çeken, Erdoğan, Kayacan ve Uğurlu, 2012).

Li ve diğ. (2006) yaptıkları çalışmalarında tek duvarlı karbon nano tüp üreterek polimer kompozitlerin EMI ve SE değerlerini değerlendirmişlerdir. 10 MHz-1.5 GHz frekans aralığında test yapmışlardır. 20 dB'den çok ekranlama etkinliği elde etmişlerdir.

Diğer bir araştırmada, EPS yani strafor köpük ilave edilerek gerçekleştirilen araştırmada kalkanlama etkisini ölçmüşlerdir. Yapılan çalışmada, kalkanlama etkisini arttıran gözenekli bir yapı malzemesi elde etmişlerdir. EPS strafor köpüklü kompozit, gözenekli bir yapı oluşturduğundan gelen dalganın saçılmasına sebep olduğunu, ayrıca kompozitin kütle bakımından hafif olması söz konusu maddenin önemli bir özelliği olduğunu çalışmada belirtmişlerdir. Örnek maddeler 20 mm kalınlıkta, EPS tanecikleri ise 1 mm büyüklüğe sahip katkısız beton, %40, %50 ve %60 EPS ilave oranlarında eklenerek çimento kompozitleri oluşturmuşlardır. Ölçümler 8 GHz ve 18 GHz aralığında yapmışlardır. En yüksek kaybı %60 EPS katkı oranıyla 18 GHz'de -16 dB şeklinde olduğunu belirtmişlerdir. En düşük değeri katkısız betonda elde etmişlerdir. Ölçümler 8 GHz ve 18 GHz aralığında -5 dB olmuştur. Yapmış oldukları çalışmada frekans arttığında EPS katkı oranı fazla olan kompozitlerin daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuşlardır (Guan, Liu, Duan ve Zhao, 2007).

İletken fiber ilave edilmesiyle gerçekleştirilen Wen ve Chung araştırmasında elektromanyetik kalkanlama çok önemlidir. Çalışmada kullandıkları çelik fiberlerin eni 8 mikro metre ve boyu 6 mm'dir. Kalkanlama etkinliği öncelikli olarak yansıma olarak gerçekleştiğini çalışmalarında belirtmişlerdir. Çimento harcındaki kum varlığının kalkanlama etkisini etkilemediğini gözlemlemişlerdir. Katkı oranı %0.36 olduğu zaman da 1.5 GHz'de 58 dB kalkanlama etkinliğine sahiptir. %0.36 katkı oranında 57 ohm direnç göstermiştir. Kalkanlama etkinliği %0.72 katkı oranında 1.5 GHz 70 dB iken 1 GHz de 60 dB olduğu yapmış oldukları çalışmada ulaşılan sonuçlardandır (Wen ve Chung, 2004).

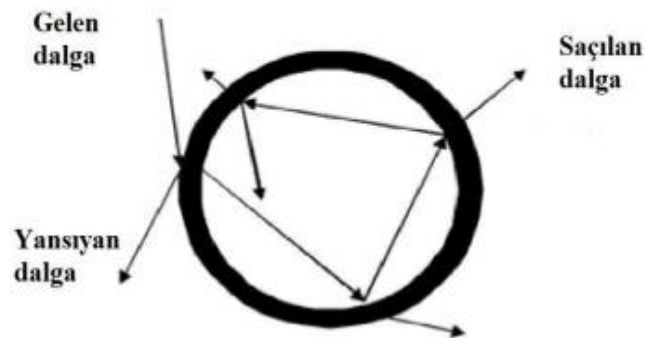
Fıstık ve fındık kabuklarının kontrollü pirolizi ile elde edilen karbon nano / mikro partiküllerin elektromanyetik kalkanlama özelliğini nasıl geliştirdiğini araştırmışlardır. Çimento hamuruna ağırlıkça %1'e kadar eklenen mikro partiküllerin, eğilme dayanımında ve toklukta artışa neden olduğunu bulmuşlardır. Bu da elektromanyetik kalkanlama da artışa neden olduğu yapılan çalışmada verilmiştir (Khushnood vd., 2016).

Submikron grafit partiküllerinin belirli oranlarda eklenmesi ile hazırlanmış çimento harcı ile yapılan bir çalışmada, 1 GHz frekansta %0.92 katkı oranında 22 dB civarında kalkanlama etkinliğine ulaşmışlardır (Cao ve Chung, 2003).

Beton yapımında kullanılan elektromanyetik dalga soğuran agregaya kavramı bu çalışmada ele alınmıştır. Agregalar TiO_2 tozunun kile dağıtılması ve kalsine edilmesi ile birlikte hazırlanmıştır. Hazırlanan agregalar ile betondaki elektromanyetik dalga absorbe etme kabiliyetini, çakıl agregalı betona göre belirgin şekilde geliştirmişlerdir (Lu, He, Ping, Wang ve Hu, 2017).

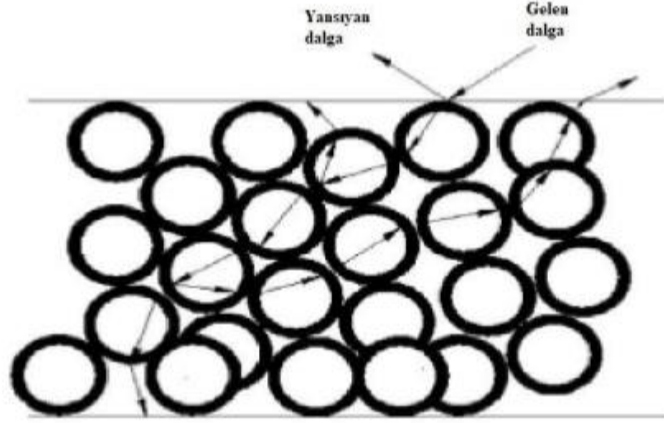
Diğer bir araştırmada, elektromanyetik radyasyonu önlemek üzere gözenekli maddeler ile bir çimento harcı hazırlamışlardır. Söz konusu araştırmada da gözenekli bir harç iç geometrisi sağlamak üzere EPS kullanmışlardır ve 1.7–18 GHz civarında ölçmeler yapmışlardır. Soğurma özelliklerinin önemli ölçüde arttığını gözlemlemişlerdir. En düşük azalma %10 EPS katkı oranıyla 5.6 GHz’de -22 dB olduğunu saptamışlardır (Baoyi, Yuping, Yuefang ve Shunhua, 2011).

Teorik olarak gelen dalganın karmaşık bir şekilde gözenekli madde içerisinde yansımalarla saçılmalara uğrayıp zayıfladığı varsayılmaktadır ve gözeneği bulunan maddeler bundan dolayı sıkça elektromanyetik kalkanlama da kullanılmaktadır (Baoyi vd., 2011). Şekil 1.1’de bir taneciğe ulaşan dalganın yansıma, iç yansımayla saçılma mekanizmaları gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Taneciğe gelen dalganın durumu

Birden çok tanecik yapılı kompozit bir madde içerisindeki dalganın çoklu yansıma mekanizması Şekil 1.2’de görülmektedir.



Şekil 1.2. Malzeme içindeki dalga mekanizması

Şekil 1.2'den görüleceği gibi gözeneklerin sayılarını arttırmak ya da kesit alanı sabit iken gözenekleri küçültüp daha çok gözenek koymak çoklu saçılmalar ve yansımaları arttıracak ve dalgaları zayıflatacaktır (Baoyi vd., 2011). Bunun dışında, araştırmada strafor köpük (EPS), perlit taşıyla kil taşı kullanmışlardır. Aynı katkı oranı ve aynı tanecik çapında en iyi sonuç EPS strafor köpükten elde edildiği için köpük üzerine yoğunlaşmışlardır. Ardından soğurma niteliğini arttırmak üzere çimento, strafor köpük ve siyah karbon ile karışım hazırlanmıştır. Oluşturulmuş olan dört numuneye ölçümler yapmışlardır. Ölçümler 2 GHz'le 18 GHz arasında yapmışlardır. Her bir numune %50 EPS strafor köpük katkılıdır ve 3 mm kalınlıktadır. İlk numune sadece EPS strafor katkılıdır siyah karbon katkı yapılmamıştır. İkinci numune %1 siyah karbon katkılı, üçüncü numune %2 siyah karbon katkılı, dördüncü numune ise %6 siyah karbon katkılıdır. En yüksek zayıflama performansı 5.6 GHz'de -22 dB şeklinde siyah karbon katkısız %50 EPS katkılı betonda sağlamışlardır. En yüksek karbon katkılı numune olan %50 EPS ve %6 siyah karbon katkılı numunede elde edilmiştir. Bunun yanı sıra gözeneklerin iyi bir geometride olmasının soğurmayı arttırdığını gözlemişlerdir (Baoyi vd., 2011).

“Klinker tuğla, kırmızı tuğla, beton ve alçıpanı” konu alan başka bir çalışma bulunmaktadır. 10 kHz-6 GHz arasındaki ölçümlerde düşük frekansta dalga zayıflamasının az olduğu ve frekans arttıkça dalgaların daha çok zayıfladığını görmüştür. 1 GHz'de elektromanyetik kayıp 1 dB civarındadır. 1 GHz'den 6 GHz'ye kadar yüksek frekanslardaysa, kırmızı tuğla, klinker tuğlayla beton 3 dB civarında kayıba yol açmaktadır. Beton ve alçıpan da ise 2 dB ile altında kayıp oranları söz konusu yayında ifade edilmiştir (Bugaj, 2014).

Elektromanyetik dalga soğurma konusunda kullanılan malzemelerden biri de baryum titanattır. Baryum titanat yüksek dielektrik sabitiyle iyi ferro elektrik özelliklere sahiptir. Yalnız başına ya da karbon malzemeler ile bir arada kullanıldığı zaman elektromanyetik dalga soğurma hususunda gelecekte tercih edilecek malzemelerden birisidir. Yapılan çalışmalarda elektriksel iletkenlikle EMK uygulamalarında baryum titanat katkılı lif/ipliklerle kompozit yapılar karşımıza çıkmaktadır (Melvin, Ni ve Wang, 2017).

Kavun (2019) günümüzde kullanılan duvar kâğıtlarına kurşun nitrat kaplama yapılarak çeşitli kalınlıklarda ve farklı yoğunluklardaki radyasyon engelleme özellikleri incelemiştir. Varılan değerlere göre radyasyon engelleme özellikleri kalınlık arttıkça artmış ve kurşun nitrat kaplı duvar kâğıtlarında radyasyon engelleme de tercih edilebileceği sonucuna varmışlar.

Demiröz (2020) yapmış olduğu çalışmada günümüz iç mimarisinde çoğunlukla tercih edilen dekoratif amaçlı maddi kullanım olarak üretilmiş olan 4 değişik duvar kâğıdının elektromanyetik kalkanlama etkilerini incelemiştir. Ticari duvar kâğıtlarının uygulamada elektromanyetik kalkanlama özelliklerinin bulunmadığını bulmuşlardır.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, katkısız ve karbon nano malzeme katkılı çimento esaslı malzemelerin elektromanyetik dalga emme kapasitesini belirlemek ve yüksek emme kapasitesine sahip malzemeleri geliştirmektir. Ayrıca bu çalışmanın sonucunda çok önemli ve tehlikeli olan elektromanyetik kirliliğin etkilerinin azaltılması konusunda ürün geliştirilmesi, en aza indirgenmesi ve ürünün kullanımı konularında faydalı olacaktır. Çalışmada elde edilen bilgi birikimi inşaat sektörüne hizmet edeceği gibi malzeme, çevre ve teknoloji kullanımı açılarından son derece önemli bir konuda ürün geliştirilmesi ve ürünün kullanımı konularında faydalı olacaktır.

Yüksek lisans tezinin amaç ve hedefleri aşağıdaki gibidir:

- Nano malzemeler kullanarak üretilecek harçların elektromanyetik kalkanlama özelliklerinin geliştirmesi,
- Katkısız ve karbon nano malzeme katkılı çimento esaslı malzemelerin elektromanyetik dalga emme kapasitesini belirlemek ve yüksek emme kapasitesine sahip malzemeleri geliştirmektir.

- Çalışma kapsamında uygulanacak karışım oranlarından hangisinin dayanımı daha yüksek ve dayanıklı harç üretimi sağladığının tespiti
- Elektromanyetik kirliliğin etkilerinin azaltılması
- Etrafımızı kaplayan elektromanyetik yayınının yol açtığı zararın azaltılması
- Aynı zamanda bu araştırma ile uygulama için gerekli bilimsel verilerin elde edilmesi, bu çalışmanın genel amacını oluşturmaktadır. Bu anlamda planlanan bu çalışma kullanılan malzemeler açısından önemli bir değere sahiptir.



2. ELEKTROMANYETİKLİK VE KALKANLAMA ÖZELLİKLERİ

Elektromanyetik alan (EMA) elektrik yüklerin hareketlerinden oluşan, elektrikle manyetik alan bileşenleri bulunan elektromanyetik enerjisi bulunan kuvvet alanıdır (Şeker ve Çerezci, 2000). Elektromanyetik dalgaların sadece istenilen yerlere ulaşmasına izin verilmesi, istenilmeyen yerlerde ise elektromanyetik dalgaların etkinliklerinin ortadan kaldırılması elektromanyetik kalkanlama olarak tanımlanır (Palamutçu ve Dağ, 2009).

2.1 Elektromanyetik Kalkanlama Özellikleri

Kalkanlama veya ekranlama; kart, devre veya cihaz düzeyinde iki ortamı birbirinden elektromanyetik alanda yalıtım şeklinde tanımlanabilmektedir (Sevgi, 2000). Kalkanlama kelimesi yerine elektrik-elektronik mühendisliğinde ekranlama kelimesi de yaygın şekilde kullanılır. İstenilmeyen elektromanyetik dalgaların olumsuz etkilerinin azaltılması amacıyla gerçekleştirilen elektromanyetik ekranlama işlemleri elektronik aletlerin uygun ortam koşullarında çalışabilmelerine yönelik oldukça önemlidir.

Savunma sanayisi, kritik önemi bulunan yapıların duvarlarında kullanılmaktadır. Yapılarda ise elektromanyetik kalkanlama etkisi bulunan katkı malzemelerinin betona eklenip, üretilmesi ile oluşturulan malzemeler kullanılmaktadır. Temelde iletken maddeler kullanılmak suretiyle dalga elektrik enerjisine çevrilip absorbe edilmektedir veya saçıcı gözenekli maddeler kullanılıp dalga saçılıma uğrattılmaktadır (Duan, Liu ve Guan, 2005).

Elektromanyetik kalkanlama konusunda kullanılmakta olan ana malzemelerden olan iletkenlerde: “Karbon, kömür, metaller vs.” saçılım gerçekleşen gözenekli maddelerdeyse ponza taşı vb. maddeler bilimsel araştırmalarda kullanılmaktadır (Yılmaz, 2014).

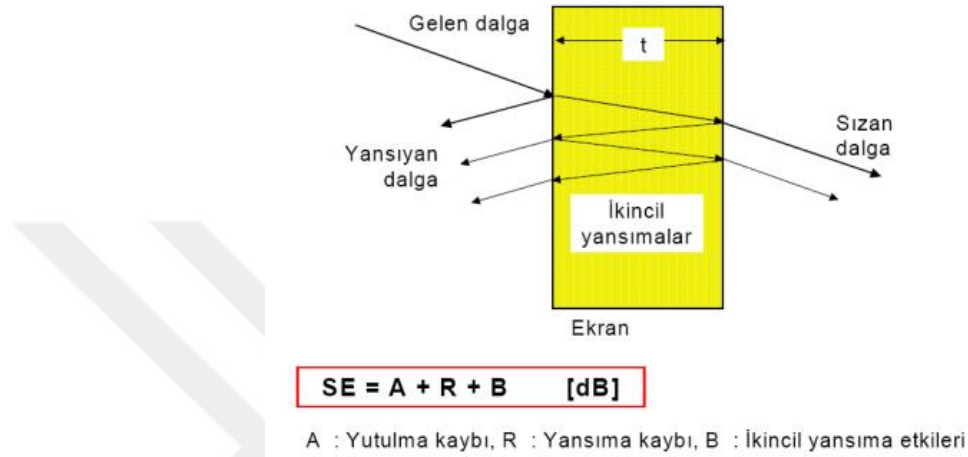
2.1.1 Kalkanlama Teorisi

Uzay boşluğunda ve madde içinde yayılan, manyetik ve elektrik alan özelliklerine sahip, genlik durumuna göre kaynaktan uzaklaştıkça azalan enine dalgalar elektromanyetik dalga olarak tanımlanır. Söz konusu dalgaların yayılımı uzayda ışık hızı ile ($c = 3 \times 10^8$ m/s) gerçekleşir. Kalkanlama cihazdan dışarı (veya içeri) doğru giren (çıkan) kaçak alanların azaltılmasıyla ilgili tercih edilmektedir. EE (ekranlama etkinliği) ya da SE (koruma verimliliği) ekranlamanın ne seviyede etkili olduğunu ortaya koyan bir parametredir ve desibel (dB) şeklinde belirtilmektedir. EE değeri aşağıda yer alan formülle hesaplanır.

$$SE = 10 \log_{10} (E_{\text{ekransız}} / E_{\text{ekranlı}})$$

2.1

Formüldeki “ekransız” ile “ekranlı” alt indisleri, ekranlama kalkını yok iken ve var iken aynı yerde ölçülebilen elektrik alan genliğini belirtmektedir. Yüksek SE değerleri iyi ekranlama aktivitesini göstermektedir, olumsuz SE de “çınılama (rezonans)” yani ekranlamadan fazla işaretin güçlenmesi manasına gelir. Şekil 2.1’de ekranlamadaki bileşenler görülmektedir.



Şekil 2.1. Kalınlığı t olan bir duvarda ekranlama aktivitesi bileşenleri

Yapılan çalışmalarda elektromanyetik kalkanlama ile ilgili farklı çalışmaların yer aldığı ancak nano malzeme katkılı yapı malzemelerinin üretimi ve elektromanyetik kalkanlama ile ilgili bir çalışmaya değinilmemiştir. Bundan kaynaklı bu çalışmada nano malzeme kullanılarak elektromanyetik kalkanlama sağlanması amaçlanmıştır. Günümüzde hızla gelişen teknoloji ile birlikte yaşam alanlarımızda radyasyon yayılımına maruz kalmaktayız. Bunu engellemek ya da en aza indirmek için yapı malzemesi geliştirmek ve literatürdeki bu açığı kapatmak çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

2.2 Elektromanyetik Kalkanlama Özelliğine Sahip Malzemeler

2.2.1 Metaller

Bu materyallerin kullanılmasının ana nedeni elektriği çok iyi iletmesidir. İletkenliği fazla olan maddelerin elektromanyetik dalgaları yansıma niteliğinden yararlanılmaktadır. İletken maddeler yapılarda genel olarak çimentoyla harmanlanıp üretilen betonlarda kullanılır (Celozzi ve Araneo, 2005).

Çizelge 2.1’de bazı metallerin iletkenlik değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Bazı metallerin iletkenlikleri

İletken Materyal	İletkenlik, σ (S/m)
Gümüş	$6.3 \cdot 10^7$
Bakır	$5.9 \cdot 10^7$
Endüstriyel Bakır	$5.8 \cdot 10^7$
Altın	$4.5 \cdot 10^7$
Alüminyum	$3.8 \cdot 10^7$
Endüstriyel Alüminyum	$3.7 \cdot 10^7$
Kurşun	$4.8 \cdot 10^6$
Fosfor Bronz	$4 \cdot 10^6$
Alüminyum Nikel Bronz	$2.6 \cdot 10^6$
Kalay	$9.2 \cdot 10^6$
Pirinç	$1.5 \cdot 10^7 - 3 \cdot 10^7$
Çelik	$5 \cdot 10^6 - 10^7$

İletken materyal şeklinde metallerin tercih edilmesi halinde özellikle nemli ortamlarla denizde korozyonlar karşısında dayanıklı olmadığı dikkate alınmalıdır. Genel olarak kalkanlama konusunda tercih edilen maddeler; “demir, bakır, krom, nikel, kurşun, alüminyum, gümüş, paslanmaz çelik, magnezyum metal folyolar, karbon veya grafit kompozitleri”dir. Fakat söz konusu maddelerin kullanılmasında kimi sorunlar ile karşılaşılabilir. Mesela karbon/grafit çok kırılmandır, kimi maddeler paslanma karşısında dayanıklı değildir, paslanmaz çelik vb. paslanmaya dayanıklı materyallerse çok ağırdır. Magnezyumun kullanımı çok hafif olduğundan avantajlı olmaktadır (Geetha vd., 2009).

2.2.2 Metal Folyolar

Folyoların “bakır folyolar, alüminyum folyolar, nikel folyolar, paslanmaz çelik folyolar vb.” türleri kalkanlama konusunda kullanılmaktadır. Dekoratif ve diğer alanlarda imal edilen folyoların dışında hususi olarak elektromanyetik uyumluluk üstüne çalışmakta olan firmaların “elektromanyetik kalkanlama ” amaçlı imal ettikleri folyolar da vardır. Söz konusu folyoların hafif olması, paslanmaya dayanıklı olmalarıyla öne çıkmaktadırlar (Bozzetti vd., 2011).

2.2.3 Elektromanyetik Kalkanlama Kumaşları

Metal folyolara benzeyen bilhassa elektromanyetiğe çok fazla maruz kalmanın olumsuz etkilerinden kişileri korumak üzere ya da endüstrinin farklı sahalarında kullanılmak

üzere EK niteliği olan kumaşlar ile alakalı pek çok araştırma yapılmıştır. Söz konusu kumaşlar tamamıyla metal iplikler ile, metal-pamuk ya da metal-öteki tekstil iplikleriyle örülme yöntemiyle imal edilebilmektedir (Safarova ve Militky, 2011).

2.2.4 Gözenekli Metaller

Malzemeler bilhassa gözenekli ve iletkenliği fazla olursa oluşan elektromanyetik dalgaya çoklu yansımalar yaptırıp gelen dalganın saçılmaya uğramasıyla gözenekler içerisinde soğurulmasına yol açmaktadır. Çağımızda siyah karbon bulunan köpük, nano teknoloji mamulü nitelikler radar gizliliği yani hayalet teknolojilerinde kullanılmakta olan soğurucuyla saçıcı teknolojiler çok önemli çalışmalardandır (Liu ve Cui, 2015).

2.2.5 Elektromanyetik Kalkanlama Boya ve Kaplamaları

Yüksek frekansa ve düşük frekansa sahip elektromanyetik radyasyon karşısında EK boyaları sıkça kullanılmaktadır. Söz konusu boyalar iç ve dış cepheler için uygulanabilir. Boyaların üretiminde insanların sağlığına zarar veren toksik maddelerin bulunmaması çok önemlidir. Söz konusu boyalar telefonların yaymış olduğu radyasyon, bilgisayarların yaymış olduğu “radyasyon, baz istasyonları, enerji nakil hatları ve trafolar, kablosuz internet modemleri ve diğer elektromanyetik radyasyon kaynakları”na karşı etkili olmaktadır. Bu tarz boyaların yapılarda uygulanmasında dikkat edilecek olan duvarların her yerini açık bırakmadan eşit kalınlıkta boyama ve boyayı mekanik etkilerden korumak için tam bir gün kurummasını bekledikten sonra ikinci bir kat daha boya uygulamaktır. Söz konusu boyalar belli bir su ya da harici materyal ile karıştırılmaksızın tatbik edilmelidir. Boyanın üretici markasına göre değişmek üzere tek katman boyadan 30-40 dB EKE elde edilebilirken, iki katman yapılmış boya uygulamalarında 35-45 dB EKE değerleri elde edilmiştir. Boyaların niteliği, uygulamadan önce çok iyi bir sıvı iletken şeklinde imal edilmeleridir. Duvara uygulanmasının ve kurummasının ardından da söz konusu iletkenliği muhafaza ederler. Çok iyi iletken olmasından faydalanılarak elektromanyetik dalgayı tamamıyla yansıtılmaları ilkesinden faydalanılmaktadır. İçerik olarak “gümüş, bakır ve nikel” katkılı olarak 3 tür boya vardır. Bunun dışında kimi markaların sprey boyaları da vardır. Kimi elektromanyetik koruyucu kaplamalarsa elektromanyetik dalgaları yalnızca yansıtmayı amaçlamamaktadır. Nanometre boyutundaki iletken taneciklerle kaplamanın içinde çoklu yansımalar yapıp saçılmayla soğurma ilkesini kullanmaktadırlar. Söz konusu teknoloji basit yapı boyalarına nazaran çok üstündür ve savunma sanayisinde ve hayalet teknolojisinde kullanılabilir (Arora ve Kaur,

2013). Çoklu yansımalarla dalganın zayıflamasıyla ısıya dönüşmesi bir kısmınınsa saçılması temel ilkedir (Arora ve Kaur, 2013).

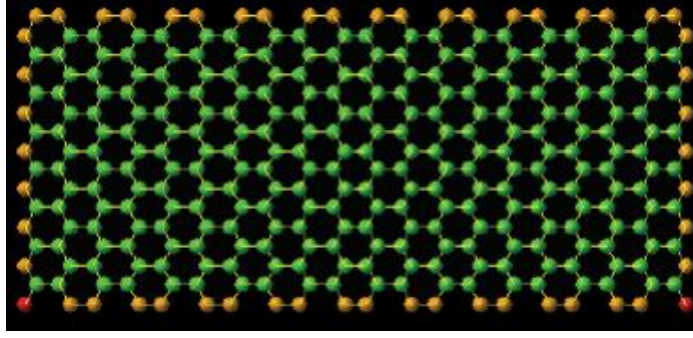
2.2.6 Karbon Nano Tüp

Nano teknolojinin gelişmesi ile birlikte en önemli geliştirilen malzemelerden birisi karbon nano yapılarıdır. Söz konusu nano yapılarda karbon bileşeni önemlidir. Bunun nedeni karbon atomları kompleks, uzun zincirli moleküller teşkil edecek şekilde birbirine bağlanabilmektedir ve bunları yapar iken tüm karbon atomlarının, kendine diğer atomlarında bağlanmasına müsaade edecek biçimde boş yerleri kalmaktadır. Söz konusu nitelik bütün bileşenler arasında karbonlara has karakteristik bir niteliktir. Tek katmanlı (tek duvarlı) veya çok katmanlı (çoklu duvarlı) karbon nano tüpler vardır.

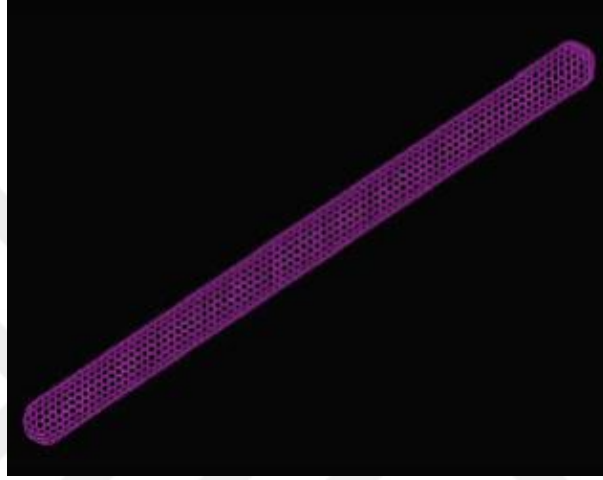
2.2.6.1 Tek Duvarlı Karbon Nano Tüp

Karbon nano tüpün yapısına en temel yaklaşım tek duvarlı bir tüple ilgili olarak şöyledir:

Tek sıra karbon atomundan oluşan bir grafin katmanının, silindir biçiminde bükülerek uçlarının birleştirilmesi ve grafin içindeki bağların aynısından yapıldığı düşünülür ise söz konusu yapı tek katmanlı bir karbon nano tüp ile aynı yapıya sahip olur. Özetle karbon nano tüp grafitin bal peteğine benzeyen atomun bir silindir üstüne herhangi bir kusur oluşturmaksızın kesiksiz biçimde sarılmış bir biçimi şeklinde düşünülebilmektedir. Karbon nano tüpleri 10-9 nm'lik kalınlıkları ile bir saç telinden daha incedir, uzunluklarıysa bir mm'den daha kısadır ama söz konusu inceliklerine karşın çok kuvvetli ve serttir. Uygun biçimde üretilirler ise mükemmel iletkenler şeklinde de kullanılabilir. Şekil 2.2 ile Şekil 2.3'te tek duvarlı karbon numuneleri bulunmaktadır (Bozkaya, 2006a).



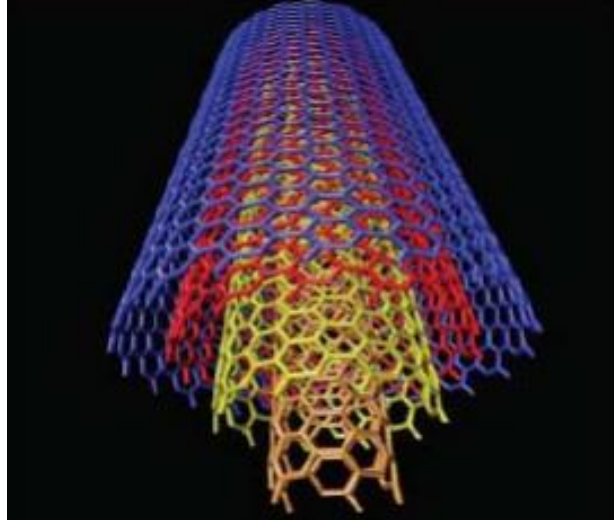
Şekil 2.2. Tek sıra karbon atomundan oluşan bir grafen katmanı (Bozkaya, 2006a)



Şekil 2.3. Tek duvarlı karbon nano tüp (SWNT) (Bozkaya, 2006a)

2.2.6.2 Çok Duvarlı Karbon Nano Tüp

İç içe geçen karbon tüpleri içinde (çok duvarlı tüplerde) 2 tüp arasında bulunan uzaklık, genel olarak tüpü teşkil eden karbon atomları arasındaki bağ uzaklıklarından çoktur. İç içe geçen tüplerde, tüp duvarları arasında bulunan uzaklık, karbon atomlarının bağ yapmalarına olanak verecek kadar azsa (0.15 nm), karbon atomları birbirleri ile (sp³ gibi) bağlanmaktadır, tüm karbon atomlarının 4 bağlı komşusu vardır. Ortaya çıkan çok duvarlı tüplere “karbon nano tüp” adı verilmiştir. Tüplerin içi tamamıyla boş ya da kısmi olarak dolu tüp yapılarından oluşmaktadır. Bu yapıların esnekliği tüplere göre daha az; ayrıca tek duvarlı tüplerden farklı mekanik ve elektronik özellikler gösterirler. Şekil 2.4’de çok duvarlı karbon örneğine yer verilmiştir (Bozkaya, 2006a).



Şekil 2.4. Çok duvarlı karbon nanotüp (MWNT) (Bozkaya, 2006a)

3. NANO MALZEMELER

Nano boyuta sahip atom parçacıkları, tabiatta doğal olarak bulunan karbonla gümüş vb. homojen yapılardan oluşmaktadır. Söz konusu homojen yapıların nano “malzeme” şeklinde açıklanabilmesi içinse boyutlarının nano düzeyindeki yani 100 nanometreden az olması gerekir (Ayhan, 2004). Atom boyutundaki söz konusu nano yapılar, nano üretiminde tercih edilen maddelerin değişik biçimlerde düzenlenmesinin neticesinde ortaya çıkar. Maddelerin atomla molekül yapıları üstündeki değişikliklerin sonucunda sağlanan değişik yapılar fonksiyonel hale getirilip nano malzeme üretimi yapılabilmektedir (Baykara vd., 2010).

Nano teknoloji sahasında tercih edilen malzeme boyutu 1-100 nm'dir. Söz konusu aralıktaki veya sağlanan yapılara “nano parçacık” denir (Ramsden, 2011). Nano parçacıklar, nano teknolojinin dolayısıyla nano malzemenin temelini oluşturmaktadır. Nano parçacıklar aracılığıyla üretilen ürünler yeni teknolojik ürün malzemeleri şeklinde karşımıza çıkar. Boyutu çok küçük olan söz konusu yapılar “mekaniksel” şeklinde maddenin değişmesi, iletkenliğinin değişmesi, yüzey niteliklerinde değişimlerin söz konusu olması, kullanım sürelerinin uzaması, yüksek yüzey/hacim oranının bulunması vb. değişik üstün nitelikler sergilemektedir (Erkoç, 2007). Nano parçacıkların üstün nitelikleri, bunların boyutunun, kontrol edilebilir şekilleriyle içyapılarının farklılığa sahip olması sonucunu ortaya koymuştur (Ramsden, 2011). Nano teknolojinin gelişebilmesiyle yeni nano maddeler sağlanabilmesine yönelik olarak tek koşul laboratuvarında yeni nano parçacıkların imal edilebilmesidir. Nano parçacıkların geniş bir kimyevi bileşim aralığında olmasıyla değişik nitelikler ortaya koymaları yeni yapılar oluşturabilme olanağı vermektedir. Nano parçacıkların niteliklerinden faydalanıp; “güneş kremleri, kozmetikler, koruyucu kaplamalar, lekeye dayanıklı kaplamalar, tekstil (Akıllı, su geçirmeyen, kırışmayan ve leke tutmayan giysiler), yüzey kaplamaları, anti bakteriyel bandajlar, deterjan ve dezenfektanlar, nano robotlar, kendi kendini temizleyen boyalar vb.” 1000'in üzerinde ticari nano ürün pazarlanır.

3.1 Nano Malzeme Üretimi

Tabiattaki yapıların molekülleri bütünsel olarak bulunmaktadır. Tabii nano malzemelerin yapısındaki kimyevi ve elektriksel bağlarla moleküller bütün teşkil edecek biçimde bir araya gelmektedir. Söz konusu doğal yapıların molekülleri laboratuvarında istenen niteliklere uygun olarak işlendiği zaman nano boyutlu yapılara ulaşılır. Bilim insanları

laboratuvarda nano malzeme üretmeye başlamadan önce sürekli olarak doğrulanmış gözlemleri temel alırlar. Söz konusu gözlemlerin sonucunda elde edilen düşüncelere, tesadüflere veya bunların karışımı şeklinde gerçekleştirilen araştırmalara bakıp küçük boyutlu yapılar elde edilmektedir. (Köksal ve Köseoğlu, 2014).

3.1.1 Yukarıdan Aşağıya Doğru (Top Down)

Bu üretim yöntemi kullanıldığında genel olarak ucuz bir şekilde nano malzeme elde edilemez. Bu yöntem kullanıldığında, nano malzeme üretim aşaması esnasında uzun bir zamana ihtiyaç duyulur. Eğer fazla miktarda nano malzeme üretimi gerçekleştirilecek ise bu yöntem uygun değildir. Bu üretim yöntemi, çok farklı üretim yöntemlerinde kullanılmasına rağmen fiziksel üretim uygulamaları için en ideal yöntemdir. Bu yöntem ile günümüzde kullanımda olan büyük boyutlu malzemeler nano boyutlara indirgenmek suretiyle nano yapıya sahip malzeme üretilmesi sağlanır. Bu işlemlerin gerçekleştirilebilmesi için dışarıdan mekaniksel ve kimyasal işlemlere tabi tutulması ve enerji uygulanması gerekmektedir. Uygulanan enerji çok yüksek miktarlarda olmaktadır. Bu yöntem fiziksel üretim yöntemi de denilmektedir. Yukarıdan aşağıya yöntemi aynı zamanda mekanik, yüksek enerji, ısı (termik), kimyasal işlemler ve doğal yöntemler olarak da isimlendirilmektedir (Wolfgang Fritzsche, 2004). Yukarıdan aşağıya olan üretim yöntemleri, mekanik aşındırma, elektro patlama, dağlama, ısı (termik) yöntem, dönen soğuk yüzeyde katılaştırma, gaz atomizörü, yüksek enerji, litografi, aşırı ultraviyole ve yumuşak litografi gibi üretim yöntemleri kullanılarak elde edilir (Hosokawa, 2007).

3.1.2 Aşağıdan Yukarıya Doğru (Bottom Up)

Aşağıdan yukarıya doğru gerçekleşen üretim metodu “parçaların birleştirilmesi işlemi” biçiminde isimlendirilmektedir. Atomla molekül yapıları üstünde işlemler yapıp nano boyuttaki nano yapılar elde edilir. Nano boyuta sahip yapıların atomla molekül yapıları kimyevi tepkimeye tabi tutulup yeni nano malzemelere ulaşılır (Wolfgang Fritzsche, 2004).

Söz konusu üretim metodundaki nano malzemeler yukarıdan aşağı doğru üretim metoduna nazaran çok daha ucuz üretilir. Bu üretim metodu genellikle tabii şekildeki materyallerde kullanılmaktadır. Kimyayla biyoloji sahasındaki çalışmalar şeklinde ortaya çıkmaktadır. Söz konusu üretim metodunun tabiatla pek çok örneği vardır. Bu şekildeki üretim yönteminin oluş ve davranış biçimini laboratuvar ortamından üretim ortamına yönlendirmek çok daha kolay olmaktadır. Hayatını devam ettirebilmek için belirli koşullar

altında kendi kendini yenileme özelliğine sahip olan bir üretim yöntemi daha avantajlı olmaktadır. Aşağıdan yukarıya gerçekleşen üretim metotları, “asal gaz yoğunlaştırma, alev sentezi, kimyasal buhar yoğunlaştırma, moleküler huzme, atom tabaka çökmesi, yanma, yaş kimyasal sentez, elektro-patlama, lazer ablasyonu, sol-jel ve ultrasonik sprey piroliz vb.” imalat metotları kullanılmaktadır (Hosokawa, 2007).

3.2 Nano Teknolojinin Kullanım Alanları

Nano teknolojinin kullanım alanları aşağıda özetlenmiştir.

- Mikro sensörlerin, mikro makinaların, optoelektronik bileşenlerin imalatıyla uygun biçimde birleştirilmesi,
- Lazer imalatında,
- Manyetikleştirilen nano katmanları en ufak değişimleri fark edecek biçimde bir çip içerisine integre edilerek, trafik sensörü şeklinde uçaklarla otomobilleri tanıma konusunda ve manyetik sahalarına bakıp tiplerini de tespit edebilme,
- Medikal sahasında: “Mikro cerrahide (göz, beyin vb.), diagnostik kitlelerde, yüzey karakterizasyonu ve modifikasyonu, mikroorganizmaların taşınmasında, kanserli hücrelerin tedavisinde”,
- DNA modifikasyonu vb. alanlarda,
- Kozmetik sanayisinde,
- Dokuma alanında tercih edilecek olan elektronik fiberlerle, istendiğinde renk değiştirebilen, bedenimizi zarar veren ışıklardan koruyan ve özel polimerlerle terlerin emilerek bedenimizin kuru kalmasını temin eden, su tutmayan kıyafetlerin imalatında,
- Mikro makinalarla da bilgisayarlı teknolojilerde,
- “Kapasitör, transistör ve fotodiyot” üretiminde,
- Güneş pillerinde,
- İlaçta,
- Yüksek çözünürlüklü ölçü aletlerinin yapılmasında,
- Nano aygıtlarla transistörlerden bütünleşik devrede,
- Kalıcı bilgisayar belleklerinde,
- Karbon nano tüp düz ekran TV’lerde,

- “Kurşungeçirmez kumaşlar, nano text” denen lekeyle bakteri tutmayan kumaşlarda,
- Ortamdaki zehirli gazları fark edebilen gaz dedektöründe,
- Hidrojen depolamayla yakıt hücresinde,
- “Nano mıknatıs, yüksek yoğunluklu bilgi depolayan küçük ölçekli sabit disk ve deformasyon” ölçümlemeye dönük ölçüm cihazlarında gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

3.2.1 Yapı Sektöründe Nano Malzeme Kullanımı

Yapı alanında, nano teknolojinin tercih edilmesi 1990’lı yıllara dayanır. 1990’lı yılların başlarında İngiltere’de yapılan Delphi araştırması, benzer biçimde İngiltere ile İsveç’te inşaat sektörüyle alakalı gerçekleştirilen çalışmalarda, nano teknolojinin sektörde önemine vurguda bulunulmuştur (Zhu, Bartos ve Porro, 2004). Nano teknolojinin yapı alanındaki öneminin fazla olmasına karşın tercih edilen malzemelerle ürünlerin pahalılığından dolayı istenilen seviyede değildir. Fakat yapılarda enerji verimliliğinin artırılmasıyla CO₂ salınımı sıfıra düşen yapılar dizayn edilmesi, bunun yanı sıra kendi enerjisini imal edebilen tabiata dost akıllı yapıların dizayn edilmesi, ilerisi için önemli olmakta bu da nano teknolojinin önemini vurgulamaktadır (Candemir, Beyhan ve Karaata, 2012).

Nano teknolojiyle;

- İnşaatlarda kullanılan malzemelerin dayanımıyla kuvvetini artırmak,
- İnşaat sektöründen kaynaklanan çevresel kirliliği azaltmak,
- Taşıyıcı malzemelerin maliyetlerini azaltmak,
- Üst düzey performanslı ve ısı yalıtımına sahip malzemelerin imalatını sağlamak,
- Kendisini temizleyebilen, kirlilikle enerji tüketimini minimuma indiren bunun yanı sıra renk değiştirme kabiliyeti olan malzeme, ince filmleri imal etmek,
- Nano boyutlu sensörle malzeme imalatını temin etmek,
- Tabii dengeye uygun çevreye dost yapıların imal edilmesini temin etmek,
- Daha güvenli ve kendisini onarma yeteneği bulunan yapı imalatı amaçlanmaktadır (Sev ve Ezel, 2014).

Çizelge 3.1’de yapılarda kullanılan nano malzeme örnekleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Yapılarda kullanılan nano malzemelerden örnekler (Bozoğlu Demirdöven ve Arditi, 2012)

Nano Malzemeler	Yapı Malzemeleri	Beklenen Faydalar
Karbon Nano Tüpler CNT	Beton	Sağlamlık
	Seramik	Çatlamayı önleme
	Cihazlar (NEMs/Nano elektro mekanik, MEMs/Mikro elektro mekanik)	Geliştirilmiş mekanik ve temel özellikler
	Güneş pili	Sağlık izleme Öz-algılama Etkili elektron iletimi
SiO ₂	Beton	Mekanik mukavemete katkı
	Seramik	Soğutma
	Cam	Işık iletimi
		Ateşe dayanıklılık ve tutuşmazlık Yansıma önleme
TiO ₂	Beton	Hızlı hidrasyon
	Cam	Hidrasyon düzeyini artırma
	Güneş pili	Kendi kendini temizleme
		Süper su emicilik Buğulanma önleme Kirlenmeye direnci Elektrik üretimi
Fe ₂ O ₃	Beton	Kompresif gücü artırma Aşınmaya dayanıklılık

4. MATERYAL VE METOD

4.1 Materyal

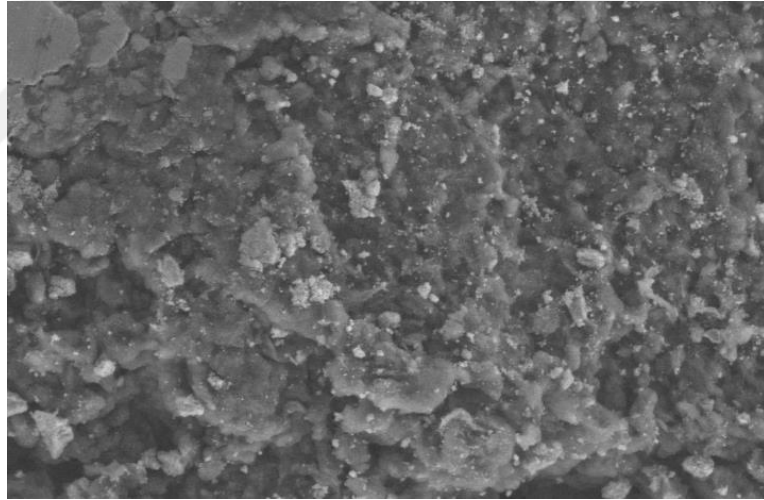
Nano malzemeler kullanarak üretilen harçların dayanım, dayanıklılık ve elektromanyetik kalkanlama özelliklerinin araştırıldığı bu çalışmada ilk olarak nano malzemelerinin bazı fiziksel ve yapısal özellikleri verilmiştir. Ardından, farklı karışım oranları kullanarak hazırlanmış olduğumuz numunelerde karbon nano tüp faktörünün elektromanyetik kalkanlamadaki etkinliğini incelemek için dayanım, dayanıklılık ve elektromanyetik özellikleri belirleyebilecek deneyler yapılmıştır. Ayrıca yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarının desteklenmesi amacı ile SEM (taramalı elektron mikroskobu) analizi yapılmıştır. Harç numuneleri hazırlanırken karbon nano tüp, çimento, rılem kumu ve su kullanılarak hazırlanmıştır.

4.1.1 Nano Malzeme

Çalışmada nano malzeme olarak kullanılan çok duvarlı karbon nano tüp Nanografi Nano Teknoloji A. Ş. tarafından temin edilmiştir. Üretimde kullanılan karbon nano tüpün teknik özellikleri Çizelge 4.1 de, Şekil 4.1 de ise numunenin SEM görüntüsü ve Şekil 4.2’de kullanılan karbon nanotüp görülmektedir. Karbon nano tüpte yer alan demiroksit yüzdesi, parçacık boyutları, saflık yüzdesi, morfolojik yapısı, uzunluğu ve yoğunluğu Çizelge 4.1 de detaylı bir şekilde yer verilmiştir.

Çizelge 4.1. Karbon nano tüp teknik özellikleri

Ürün Adı	Ağırlıkça %52 Demir Oksit (Fe ₃ O ₄) Katkılı Karbon Nano Tüpler
Parçacık Boyutu (Fe ₃ O ₄)	30 nm
Parçacık Saflığı (Fe ₃ O ₄)	99.9%
Ürün No	NG01SC0711
Yüzey Alanı (Fe ₃ O ₄)	45.0 m ² /g
Morfolojik Yapısı (Fe ₃ O ₄)	Küresele Yakın
Karbon Nano Tüp Saflığı	> 97 %
Karbon Nano Tüp Ortalama Dış Çapı	> 50 nm
Karbon Nano Tüp Ortalama İç Çapı	5 nm
Karbon Nano Tüp Uzunluğu	15-25 µm
Karbon Nano Tüp Sıkıştırılmış Yoğunluk	0.15 g/cm ³
Karbon Nano Tüp Özgül Yüzey Alanı	> 65 m ² /g
Kül Oranı	< 1.5 wt%
Karbon Nano Tüp Elektrik İletkenliği	> 98 S/cm



Şekil 4.1. Karbon nano tüpe ait sem görüntüsü



Şekil 4.2. Deneyde kullanılan karbon nano tüp

4.1.2 Çimento

Deneyisel çalışmalarda İstanbul Büyükçekmece Çimento Fabrikası'nın (AKÇANSA) ürettiği TS EN 197-1 (2012) standartlı CEM I 42.5 R Portland Çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun şekli, XRF analiziyle fiziki özellikler deneylerinin sonuçları sırası ile Şekil 4.3 ile Çizelge 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Deneyde kullanılan çimento

Çizelge 4.2. Çimentonun kimyasal bileşimi ve fiziksel deney sonuçları

Kimyasal Bileşim, % CEM I 42.5 R	
SiO ₂	16.80
Al ₂ O ₃	4.81
Fe ₂ O ₃	3.55
CaO	63.90
Kimyasal Özellikler	
MgO	1.94
Na ₂ O	0.74
K ₂ O	1.24
SO ₃	3.02
MnO	0.12
Kükürt (S)	-
Cl ⁻	0.01
Kızdırma Kaybı	1.24
Çözünmeyen Kalıntı	0.44
Serbest Kireç	1.90
Fiziksel Özellikler	
Özgül Ağırlık	3.15
Özgül Yüzey, cm ² /gr	3320

4.1.3 İnce Agrega

Harç karışımında “Standart Rilem” kumu tercih edilmiştir. Söz konusu kumun birim ağırlığı 1.352 kg/dm³, özgül ağırlığıysa 2.563 kg/dm³ şeklinde belirlenmiştir. Rilem kumunun granülometrisi Çizelge 4.3’te ile şekli Şekil 4.4’dedir.

Çizelge 4.3. Rilem kumu granülometrisi

Elek Boyutları (mm)	2.00	1.60	1	0.5	0.16	0.08
Kümülatif Elekte Kalan (%)	0	7±2	33±2	67±2	87±2	99±1



Şekil 4.4. Deneyde kullanılan rilem kumu

4.2 Metot

4.2.1 Karışımların Hazırlanması

Deneyleerde kullanmak üzere harç numuneleri hazırlanmıştır. İlk önce TS EN 196-1 standardına uygun harç üretilmiştir. Harcın karışımı ağırlık açısından 1 miktar çimento, 3 miktar kumla 1/2 kısım sudan oluşmaktadır. Karışımın su/çimento oranı 0.50'dir. Harç numuneleri, Çizelge 4.4'de verilen karışım oranları kullanılarak TS EN 196-1'e göre hazırlanmıştır. Öncelikle suya Nano malzeme ilave edilip, karıştırılmış, sonra çimento harç mikserine konulup daha sonra 30 s karıştırılmıştır. Standart rilem kumu ilave edilerek 60 s daha karıştırılmıştır. Daha sonra harç üzerinde yayılma deneyi yapılmış ve hazırlanan harç karışımı 40x40x160 mm boyutundaki kalıplara yerleştirilmiştir. 1 gün sonra numuneler kalıptan çıkarılıp ve daha sonra 20 ± 2 °C sıcaklıkta kirece doymun su içerisinde bekletilmiştir. 28 gün sonra numuneler külden çıkarılıp deneyler yapılmıştır.

Çizelge 4.4. Harç karışım oranları

Karışım Kodu	Katkı Oranı (%)	Çimento (g)	Nano Malzeme (g)	Kum (g)	Su (g)	Bağlayıcı / Su (%)
NM0	0	450	0.000	1350	225	0.5
NM1	0.25	450	1.125	1350	225	0.5
NM2	0.5	450	2.250	1350	225	0.5
NM3	1	450	4.500	1350	225	0.5

4.2.2 Taze ve Sertleşmiş Harç Deneyleri

Taze harçta yayılma deneyi yapılırken, kür süresini tamamlayan numuneler üzerinde ise ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, su emme ve elektromanyetik kalkanlama deneyleri yapılmıştır. Deneyler en az üç numune üzerinde yapılarak ve alınan sonuçların ortalama değerleri kullanılmıştır.

4.2.2.1 Yayılma deneyi

Taze harçta yayılma sınıfı TS EN 206-1 dayalı olarak boyutları ve tipi belirlenmiş yayılma tablasında betonun serbest düşürülmesi işleminin on beş defa tekrarlanmasıyla saptanmıştır. Elde edilen yayılma çapı değerine göre taze harcın kıvamı tespit edilmiştir. Taze harç yayılım hunisine 2 kademede 10 kez şişlenip konulmuştur. Huni yavaş bir biçimde dik olarak yukarıya kaldırılmıştır. Üst tabla tutma bölümünde tutulup yukarıya kaldırılıp ve serbest bırakılmıştır. Söz konusu işlem 15 defa tekrarlanıp harcın yayılımı ölçülmüştür.

4.2.2.2 Ultrases geçiş hızı deneyi

Harç numunelerinde, “TS EN 12504-4” e uygun ultrases aletiyle t, µs ses geçiş süreleri ölçümlenmiştir. Ses geçiş sürelerinin ölçümlenmesinde numunenin yüzeyindeki pürüzlerin oluşturduğu boşlukları doldurmak üzere numunelerin alt ve üst yüzeylerine vazelin sürülmüştür 51 kHz’ lik ses dalgalarını yollayan göndericiyle alan alıcı numunelerin düzgün yüzeylerine yerleştirilerek, doğrudan iletim metodu uygulanıp ses geçiş süresi (t, µs) okunmuştur (Şekil 4.5). Problar yer değiştirilerek ikinci okuma yapılmıştır, her numune için bu iki okumanın ortalamaları alınıp 4.1 bağıntısından yararlanarak ses geçiş hızı (V, km/s) hesap edilmiştir.

$$V=l/t \quad (4.1)$$

Ultrases geçiş hızıyla betonun kalitesi arasında bir bağıntı bulunmaktadır ve dayanım karşılaştırılmasında kullanılabilir (Neville, 1996). Çizelge 4.5’de ultrases geçiş hızıyla betonun kalitesi arasındaki bağıntı ortaya konmuştur.

Çizelge 4.5. Ultrases geçiş hızları ile beton kalitesi arasındaki bağıntı (Neville, 1996)

Boyuna Dalga Geçiş Hızı, km/s	Beton Kalite Sınıflandırılması
> 4.5	Mükemmel
3.5 – 4.5	İyi
3.0 – 3.5	Orta
2.0 – 3.0	Zayıf
< 2.0	Çok kötü



Şekil 4.5. Ultrasonik test cihazı

4.2.2.3 Eğilme dayanım deneyi

Eğilme deneyi malzemenin eğilme dayanımını belirlemek amacı ile yapılır. Harcın eğilme dayanımı, harçta çekme etkisi oluşturacak kuvvetlerin yol açacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, harcın gösterebileceği direnme kabiliyeti olarak tanımlanır. Eğilme dayanımı deneyi Şekil 4.6 görülmektedir.

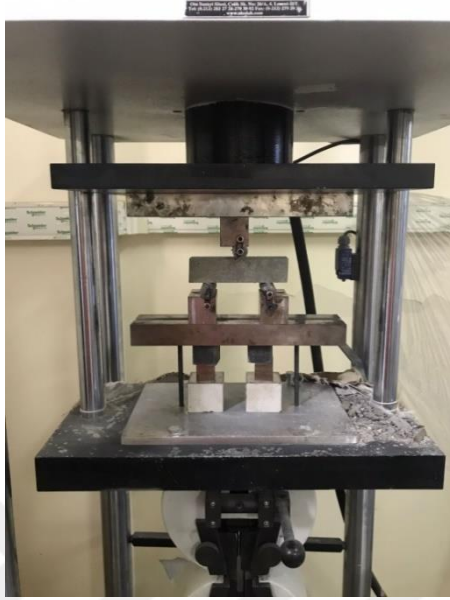
Eğilme dayanımı, aşağıdaki bağıntıdan (4.2) hesaplanır;

$$R_f = (1,5 * F_f * l) / b^3 \quad (4.2)$$

Burada;

R_f : Eğilme dayanımı, MPa,

b: Prizma şekilli numunenin kare kesitinin kenar uzunluğu, mm,
F_f: Prizma şekilli numunenin kırıldığı anda ortasına uygulanan yük, N,
l: Mesnet silindirleri arasındaki mesafe, mm'dir.



Şekil 4.6. Eğilme deney düzeneği

4.2.2.4 Basınç dayanım deneyi

Kür edilmiş numuneler, basınç dayanımının belirlenmesine yönelik olarak kırma presi yardımı ile aksenal basınca maruz bırakılmıştır. Numunelere ait basınç dayanım değerlerinin hesabı 4.3 ile hesaplanmıştır. Basınç dayanım deneyi Şekil 4.7 'te görülmektedir.

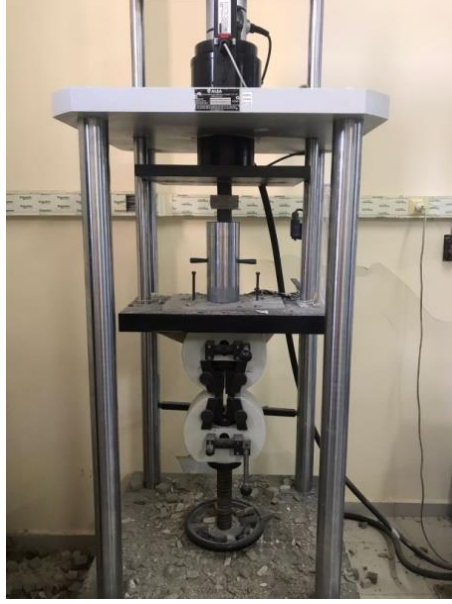
$$\sigma_B = F/A \quad (4.3)$$

Bu bağıntılarda kullanılan semboller,

σ_B : basınç gerilmesini (N/mm²)

F: uygulanan kuvveti (N)

A: Kuvvet uygulanan alan (mm²) temsil etmektedir.



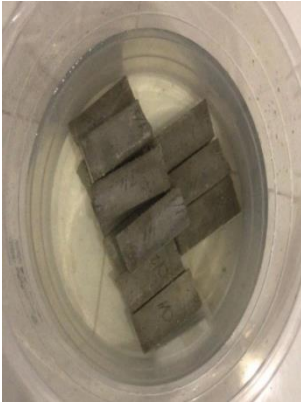
Şekil 4.7. Basınç dayanım deney düzeneği

4.2.2.5 Su emme tayini

Su emme miktarıyla bağlantılı boşluk miktarı ASTM C 642 “Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete” standardına göre belirlenmiştir. Harç numunelerinin ağırlığı 105°C sıcaklıkta değişmez ağırlığa geldikten sonra belirlenmiştir. (P_0). Sonraki aşamada, numuneler 21 °C’deki su içinde 48 saat süre ile bekletilen ve kuru yüzey doymuş ağırlığı tespit edilmiştir (P_1). Su emme değeri hesabı 4.4 ile hesaplanmıştır.

$$\text{Su emme} = ((P_1 - P_0) / P_0) * 100 \quad (4.4)$$

Şekil 4.8 de ise kuru yüzey doymuş ağırlığı deney aşamaları verilmiştir.

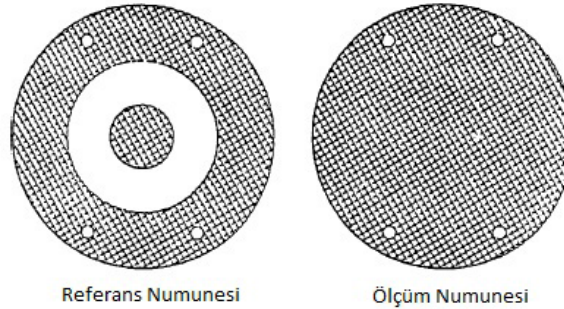


Şekil 4.8. Kuru yüzey doymuş ağırlığı deney aşamaları

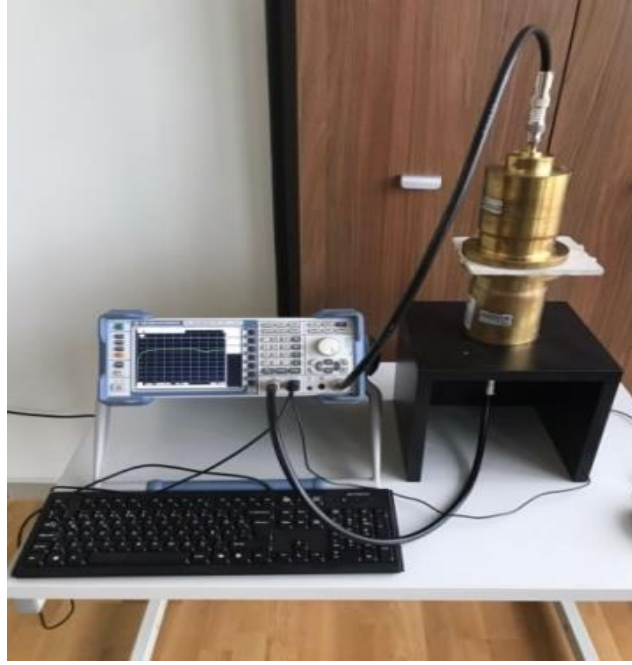
4.2.2.6 Elektromanyetik kalkanlama testi

Elektromanyetik dalgalar 3 biçimde zayıflatılır. İlki duvardan yansıma, diğeri duvar içerisindeki zayıflamalarla (yutulma) üçüncüsü ise duvar içindeki ardışık yansıma

kayıplarıdır. Ekranlama bir cihazdan içeriye (ya da dışarıya) doğru giren (çıkan) kaçak alanların azaltılması için kullanılır. “SE (shielding efficiency)” ekranlamanın ne kadar etkili olduğunu ortaya koyan bir parametredir ve “desibel (dB)” şeklinde belirtilmektedir. Deney için kullandığımız cihaz Şekil 4.10’da gösterilmiştir. Elektromanyetik kalkanlama etkisi Network Analyzer (ROHDE&SCHWARZ) cihazında ölçülmüştür. Network Analyzer cihazının iki dairesel deney tutucu başlıkları bulunmaktadır. Bu başlıklar ölçülecek numunenin sabitlenmesini ve ölçüm kolaylığını sağlar. Malzemenin gerçek ölçüm değeri için test numunelerinin referans ölçümleri de yapılmalıdır. Referans numunesinin ölçümü için küçük dairesel bir parça başlıklar arasındaki merkez iletken noktaların arasına ve büyük, dairesel, içi oyuk bir parçada iki başlık arasına yerleştirilmelidir. Referans ve ölçüm numuneleri Şekil 4.9’ da görülmektedir. Böylece bu metot ile merkez ve diğer iletken haricinde iki başlık arasındaki malzeme ve uzaklık sabit bir şekilde tutulur. Dıştaki iletkene, iki başlık arasında iyi bir kapasitif alan sağlanması amacı ile flanşlar eklenmiştir. Kalkanlama tesiri, referans numunesiyle test örneğinin ölçüm neticeleri arasındaki farklılık hesaplanıp bulunmaktadır. 2 başlığın tercih edildiği söz konusu metotta, başlıkların ölçülebildiği frekans aralığı 1 MHz – 3 GHz, güç aralığı ise 90 – 100 dB’dir. Ölçüm işlemi ASTM D 4935-10 standardına göre yapılmaktadır (Tong 2009).



Şekil 4.9. Network Analyzer cihazında kalkanlama ölçüm numuneleri



Şekil 4.10. Elektromanyetik kalkanlama deney düzeneği

4.2.2.7 Mikro yapı incelemeleri

Numunelerin mikro yapı ve kompozisyonları, SEM (taramalı elektron mikroskobu) analizleri yapılarak incelenmiştir. Yapılan inceleme Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı NABİLTEM’de gerçekleştirilmiştir. Cihazın markası FEI modeli ise QUANTA FEG 250 dir.

Taramalı elektron mikroskobu yüksek voltajlarla süratlendirilmiş elektronların ışığa nazaran çok daha fazla ayırma kuvveti bulundurabileceğinin keşfi üstünde elektronların mikroskoplarda görüntüler sağlanmasında kullanılabileceği düşüncesiyle üretilmiştir. Taramalı Elektron Mikroskobu SEM özde optik kolon, numune hücresi ve görüntüleme sistemi olarak 3 temel bölümden oluşur.

Taramalı Elektron Mikroskobunda (SEM) görüntü, yüksek voltajla süratlendirilmiş elektronların numune üstüne odaklanması, söz konusu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması esnasında elektronla numune atomlarının arasındaki farklı girişimlerin neticesinde oluşan etkilerin uygun algılayıcılarda toplanmasıyla sinyal kuvvetlendiricilerden geçirilmesinin ardından bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılması ile sağlanır.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Nano malzeme kullanılarak üretilmiş harçların dayanım, dayanıklılık ve elektromanyetik kalkanlama özelliklerinin araştırıldığı bu çalışmada, yapılan deneylerden aşağıdaki sonuçlar aşağıda verilmiştir.

5.1 Yayılma Deneyi

Çalışmada yapılan yayılma deneyi sonuçları NM0, NM1, NM2 ve NM3 için sırasıyla 160, 159, 156 ve 155 mm arasında azalma görülmüştür. Üretilen malzemelerde artan nano malzeme içeriği ile akışta bir azalma gözlemlenmiştir. Bu, nano malzemelerin küçük boyutlu etkisi ile bağlantılıdır.

5.2 Ultrases Geçiş Hızı Deneyi

Harç numunelerinin 28 günlük ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları Çizelge 5.1 ve Şekil 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Ultrases geçiş hızı deney verileri

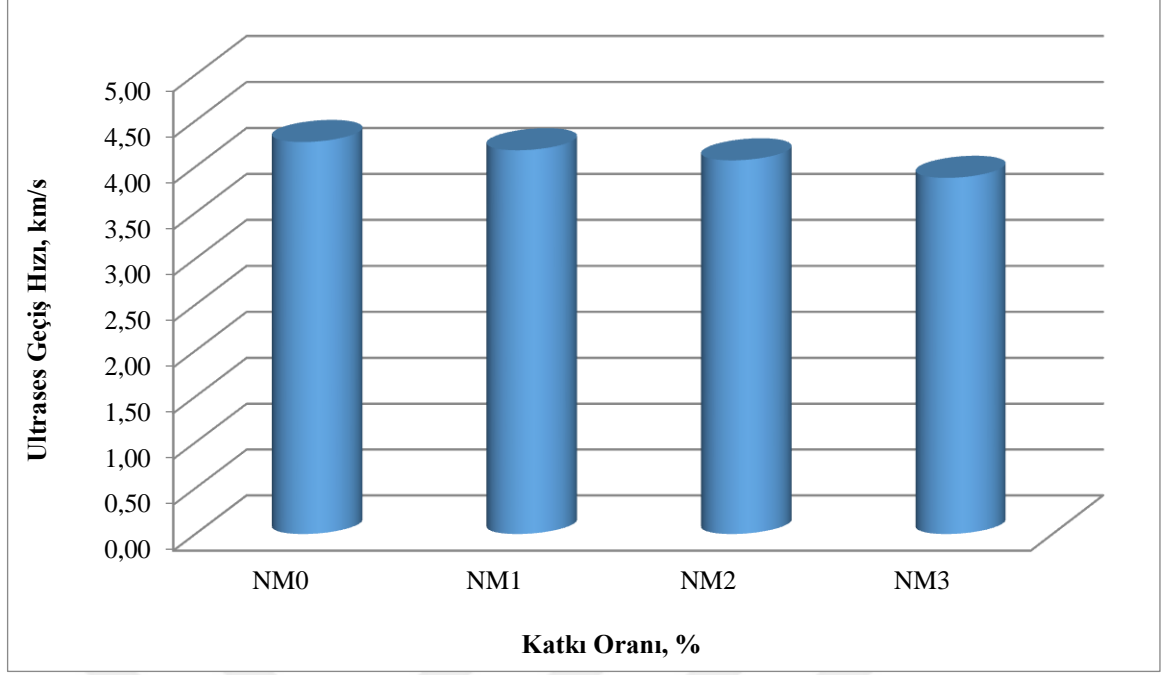
Numune Kodu	Numune Adı	S1 Ses Geçiş Süresi (t, µs)	S2 Ses Geçiş Süresi (t, µs)	Ses Geçiş Süresi S1 _{ort} (t, µs)	Ses Geçiş Süresi S2 _{ort} (t, µs)	(S1 _{ort} +S2 _{ort})/2	V = 1 / t _{ort}	Ses Geçiş Hızı (V, km/s)
NM0	0 / 1	37.6	37.8					
	0 / 2	37.4	37.2	37.37	37.50	37.43	V=0.00016/0.00003743	4.27
	0 / 3	37.1	37.5					
NM1	0.25 / 1	38.5	38.3					
	0.25 / 2	38.0	38.5	38.20	38.33	38.27	V=0.00016/0.00003827	4.18
	0.25 / 3	38.1	38.2					
NM2	0.5 / 1	39.0	39.2					
	0.5 / 2	39.4	39.3	39.27	39.27	39.27	V=0.00016/0.00003927	4.07
	0.5 / 3	39.4	39.3					
NM3	1 / 1	41.5	41.2					
	1 / 2	41.3	41.8	41.20	41.33	41.27	V=0.00016/0.00004127	3.88
	1 / 3	40.8	41.0					

S1: Problar yerleştilince alınan ilk okuma

S2: Problar yer değiştirildikten sonra alınan okuma

1 µs = 0.000001 s, 1 km = 0.000001 mm

tort : (S1_{ort}+S2_{ort})/2



Şekil 5.1. Numunelerin ultras ses geçiş hızı

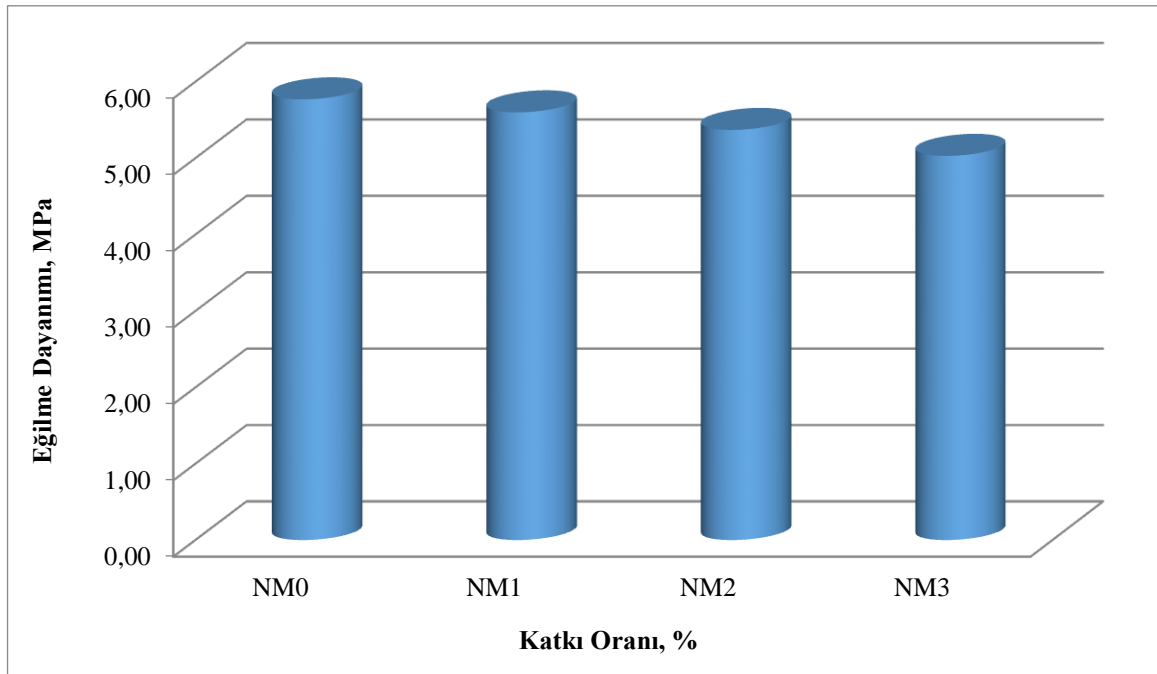
Ultras ses geçiş hızı deneyinde, karbon nano tüp oranının artmasıyla birlikte ses geçiş hızının düştüğü gözlenmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde, en yüksek ultras ses geçiş hızının kontrol numunesinde olduğu görülmüştür. Karbon nano tüp katkısız NM0 kontrol numunesindeki ses geçiş hızının 4.27 km/s olduğu karbon nano tüp katkı oranının artmasıyla birlikte numunedeki ses geçiş hızının düştüğü görülmektedir. Katkılı numunelerde kontrol numunesine en yakın sonucu veren NM1 numunesinin yani %0.25 katkı oranlı numuneler en iyi sonucu vermiştir. NM1 numunesi kontrol numunesine göre %2.1 bir azalma görülmüştür. En düşük değeri NM3 numunesi almıştır. En düşük değeri alan %1 katkılı NM3 numunesinde %9.13 azalma olduğu grafikten görülmektedir. Numune içerisinden geçen ultrasonik sesin hızı betonun yoğunluğu ile alakalıdır. Yoğunluğu az olan bir numunede (boşlukları fazla olan numune), ultras esin numunenin bir yüzeyinden diğer yüzeyine ulaşma süresi daha uzundur. Numunede geçiş hızının olması çatlak olmadığını, karbon nano tüp artışının numunede çatlama neden olmadığını söyleyebiliriz. Geçiş hızının artması ise boşluklu yapıya neden olduğu kanıttır. Neville (1996)'ye göre Çizelge 4.5'de yer alan beton kalite sınıflandırılmasında dalga geçiş hızının 3.5–4.5 km/s arasında olmasından dolayı beton kalite sınıflandırılmasında numunelerdeki bütün değerler bu aralıkta olduğundan “iyi” olarak tanımlanır. Karbon nano tüp katkı oranı artışı elde edilen verilere göre kaliteyi düşürmemiştir.

5.3 Eğilme Dayanım Deneyi

Harç numunelerinin 28 günlük eğilme dayanımı deneyi sonuçları Çizelge 5.2 ve Şekil 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Eğilme dayanımı deney sonuçları

Numune Kodu	Numune Adı	Eğilme Dayanımı (MPa)	Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)
NM0	0 / 1	5.7	5.77
	0 / 2	5.5	
	0 / 3	6.1	
NM1	0.25 / 1	5.5	5.60
	0.25 / 2	5.5	
	0.25 / 3	5.8	
NM2	0.5 / 1	5.6	5.37
	0.5 / 2	5.5	
	0.5 / 3	5.0	
NM3	1 / 1	5.2	5.03
	1 / 2	4.7	
	1 / 3	5.2	



Şekil 5.2. Numunelerin eğilme dayanımları

Karbon nano tüp kullanılarak üretilen numunelerin deney sonuçlarında, eğilme davranışlarında çok önemli derecede değişiklik olmamakla birlikte eğilme dayanımının katkı oranının artmasıyla eğilme dayanımının düştüğü gözlemlenmiştir.

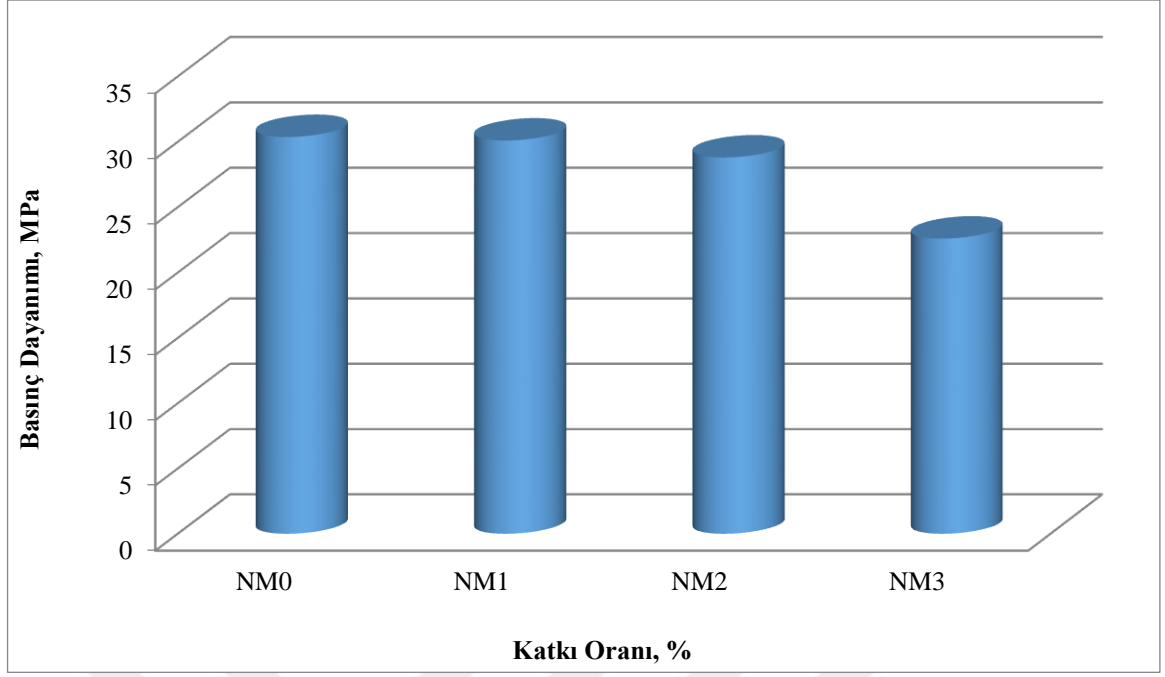
Deney sonuçları incelendiğinde, en yüksek eğilme dayanımının kontrol numunesinde olduğu görülmüştür. Karbon nano tüp katkısız NM0 kontrol numunesindeki eğilme dayanımının 5.77 MPa olduğu görülmektedir. Katkılı numunelerde kontrol numunesine en yakın sonucu veren NM1 numunesinin yani %0.25 katkı oranlı numuneler en iyi eğilme dayanımı sonucunu vermiştir. NM1 numunesi kontrol numunesine göre %2.94 bir azalma görülmüştür. En düşük değeri NM3 numunesi almıştır. En düşük değeri alan %1 katkıli NM3 numunesinde %12.82 azalma olduğu grafikten görülmektedir.

5.4 Basınç Dayanım Deneyi

Üretilen numunelere ait basınç dayanım değerleri sırasıyla Çizelge 5.3 ve Şekil 5.3 de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Basınç dayanımı deney sonuçları

Numune Kodu	Numune Adı	Basınç Dayanımı (MPa)	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)
NM0	0 / 1	29.7	30.37
	0 / 2	28.0	
	0 / 3	33.4	
NM1	0.25 / 1	31.9	30.10
	0.25 / 2	29.2	
	0.25 / 3	29.2	
NM2	0.5 / 1	32.9	28.80
	0.5 / 2	26.1	
	0.5 / 3	27.4	
NM3	1 / 1	21.7	22.60
	1 / 2	24.4	
	1 / 3	21.7	



Şekil 5.3. Numunelerin basınç dayanımları

Basınç dayanım deneyinde karbon nano tüp oranının artmasıyla birlikte numunedeki basınç dayanımının düştüğü gözlenmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde, en yüksek basınç dayanımının kontrol numunesinde olduğu görülmüştür. Karbon nano tüp katkısız NM0 kontrol numunesindeki basınç dayanımının 30.37 MPa olduğu grafikten görülmektedir. Katkılı numunelerde kontrol numunesine en yakın sonucu veren NM1 numunesinin yani %0.25 katkı oranlı numuneler en iyi sonucu dayanım sonucunu vermiştir. NM1 numunesi kontrol numunesine göre %0.88 bir azalma olduğu görülmüştür. En düşük değeri NM3 numunesi almıştır. En düşük değeri alan %1 katkıli NM3 numunesinde %25.58 azalma olduğu grafikten görülmektedir. NM3 numunesindeki basınç dayanımındaki düşüş ultrases geçiş hızı deneyinde elde edilen verileri desteklemektedir.

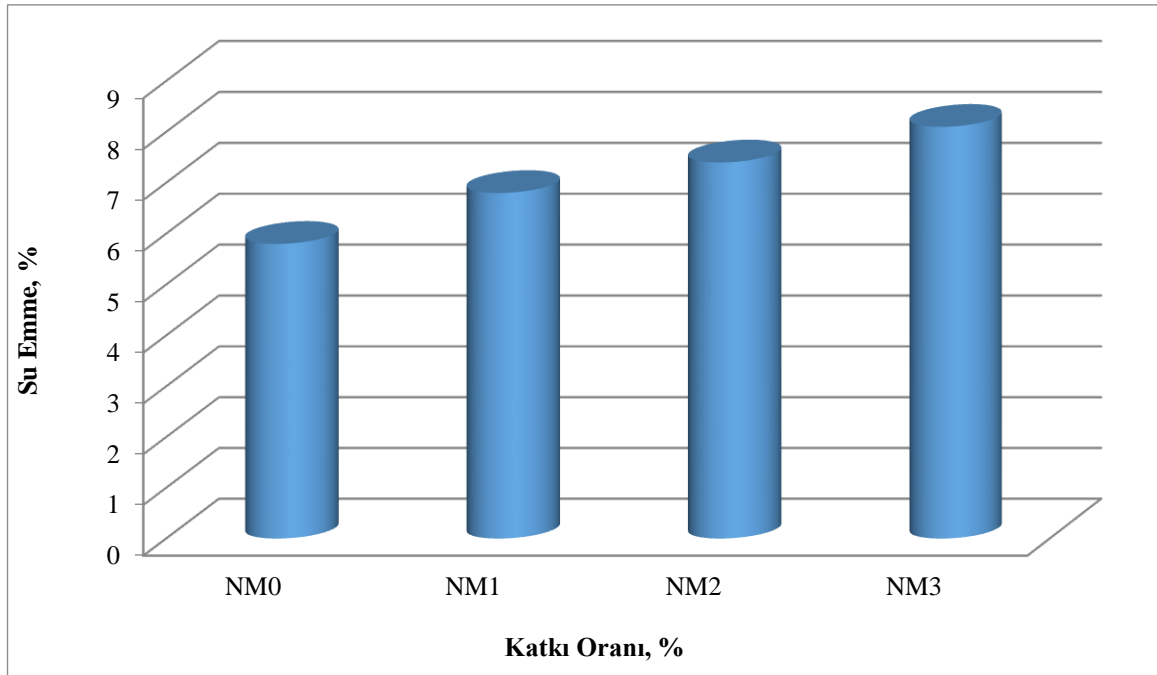
5.5 Su Emme Deneyi

Su emme yüzdelere ait katkı oranlarındaki numunelerde su emme oranlarındaki su emme değişim durumu Çizelge 5.4 ve Şekil 5.4 te sırası ile verilmiştir.

Çizelge 5.4. Numunelere ait su emme yüzdeleri

Karışım Kodu	Numune Adı	P _b (g)	P ₀ (g)	P ₁ (g)	Su emme oranı (%)	Su emme ortalaması (%)
NM0	0 / 1	252.7	239.9	255	6.3	5.8
	0 / 2	240.6	229.7	241	4.9	
	0 / 3	257.6	244.9	260	6.2	
NM1	0.25 / 1	249.3	234.5	250	6.6	6.8
	0.25 / 2	226.5	214.1	230	7.4	
	0.25 / 3	243.7	230.4	245	6.3	
NM2	0.5 / 1	257.2	243.4	260	6.8	7.4
	0.5 / 2	246.5	232.5	250	7.5	
	0.5 / 3	235.8	222.5	240	7.9	
NM3	1 / 1	257.1	239.5	260	8.6	8.1
	1 / 2	274	254.9	275	7.9	
	1 / 3	258.3	240.9	260	7.9	

P_b: Numune başlangıç ağırlığı
P₀: Numunenin 100 °C etüvde bekletildikten sonraki kuru ağırlığı
P₁: Numunenin suda bekletildikten sonraki ağırlığı
SE: Numunenin su emme yüzdesi

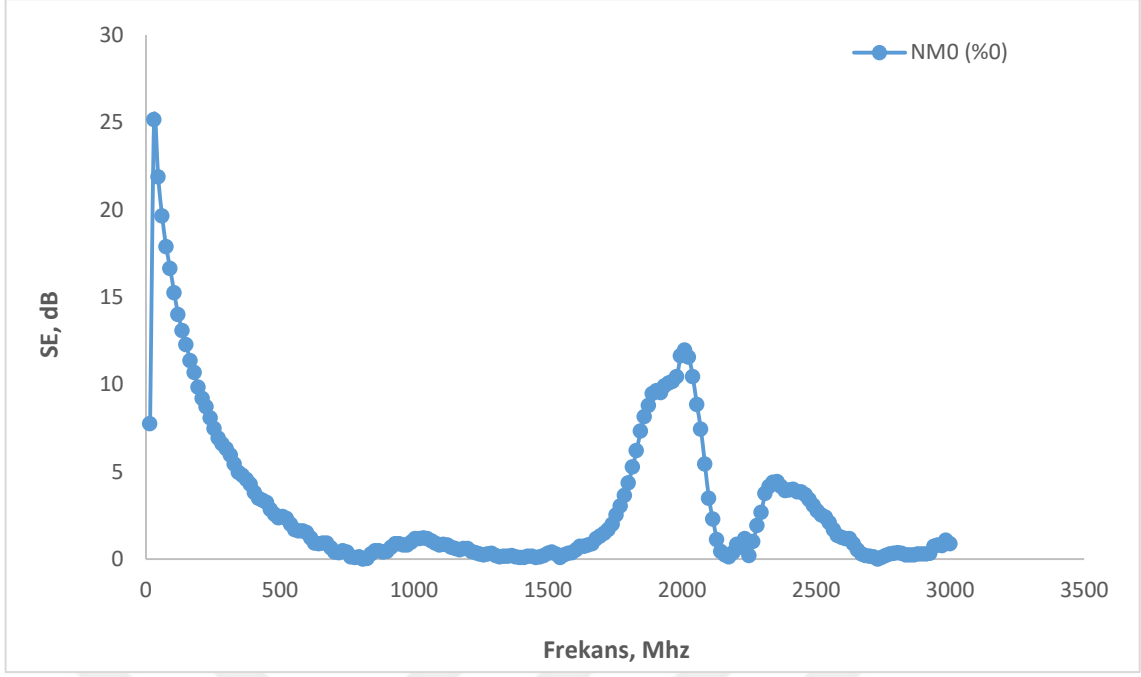


Şekil 5.4. Numunelerin su emme yüzdeleri

Su emme deneyinde karbon nano tüp oranının artmasıyla birlikte numunedeki su emme yüzdesinin arttığı gözlenmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde, en yüksek su emme yüzdesinin %1 karbon nano tüp katkılı NM3 numunesinde olduğu görülmüştür. %1 karbon nano tüp katkılı NM3 numunesindeki su emme yüzdesinin %8.1 olduğu karbon nano tüp katkı oranının olduğu görülmektedir. Katkılı numunelerde kontrol numunesine en yakın sonucu veren NM1 numunesi yani %0.25 katkı oranlı numunelerdir. NM3 numunesi kontrol numunesine göre %39.65 bir artma görülmüştür. En yüksek değeri NM3 numunesi almıştır. En düşük değeri alan %0.25 katkılı NM1 kontrol numunesine göre %17.24 artma olduğu grafikten görülmektedir. Karbon nano tüp katkı oranının artışı numunedeki boşluk oranını arttırmakta, buna bağlı olarak numunenin su emme kapasitesindeki artışa neden olmaktadır. Boşluklu malzemeler su içerisinde kalırsa veya su ile temasa geçince boşlukları su ile dolar. Malzemelerin fazla miktarda su emmesi istenmez. Bunun nedeni malzemelerin çeşitli özelliklerinin olumsuz yönde etkilenmesidir. Nitekim donma ve çözülme olayı malzemelerde önemli zararlara yol açmaktadır. Numunelerdeki ultrases geçiş hızı süresi düşüşü, basınç dayanımındaki düşüşün sebebi boşluklu yapıdan kaynaklı olduğu yapılan bu deney ile teyitlemiştir. Sonuçlar doğru orantılı olarak birbirini desteklemektedir.

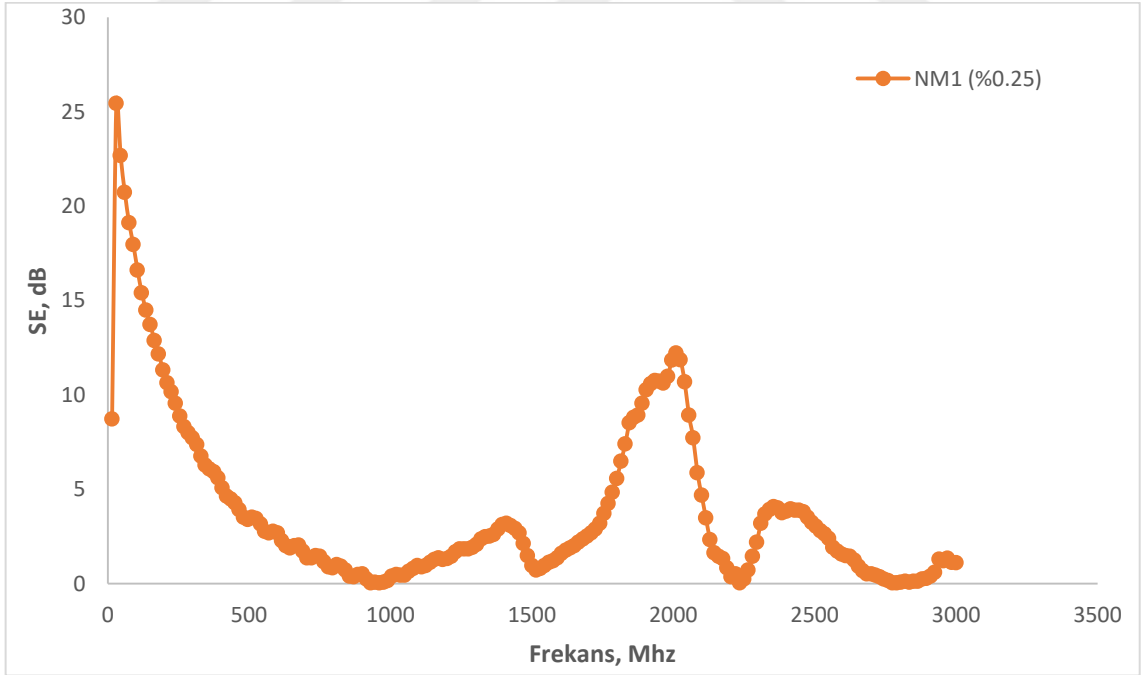
5.6 Elektromanyetik Kalkanlama Deneyi

Karbon nano tüp katkılı numunelerin katkı oranlarına göre kalkanlama ölçümü yaptığımızda Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'daki gibi ölçüm sonuçları görülmüştür.



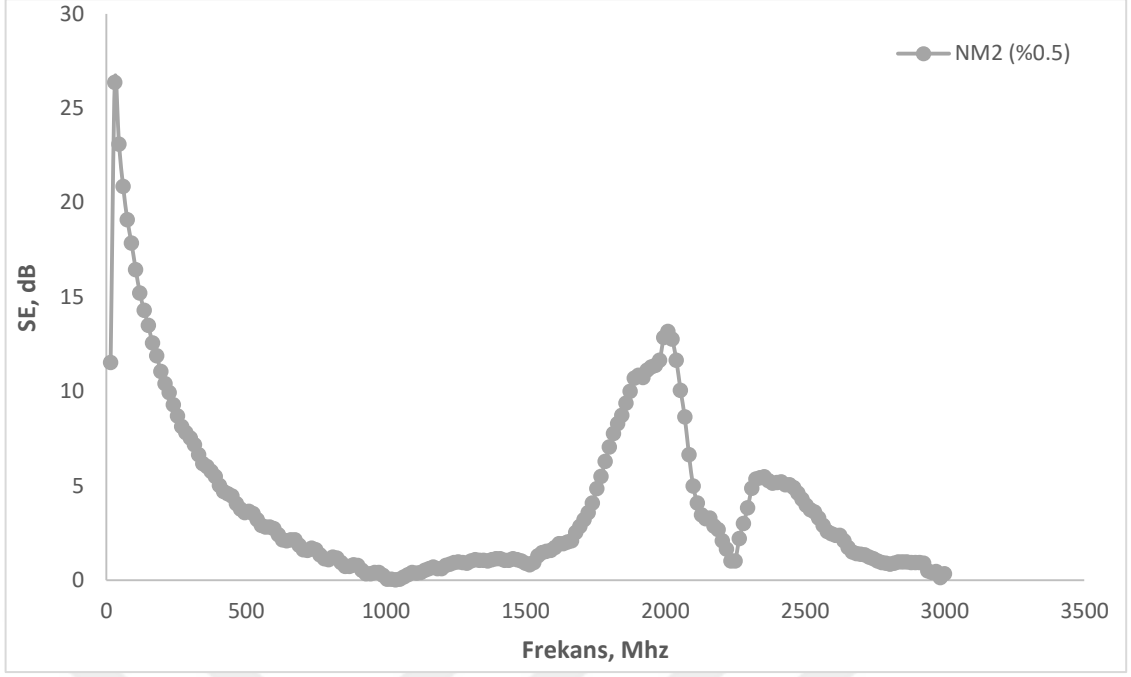
Şekil 5.5. NM0 Numunelerin elektromanyetik kalkanlama grafiği

NM0 kodlu numunenin ekranlama etkinliği değeri en yüksek 25.16 dB olarak ölçülmüştür.



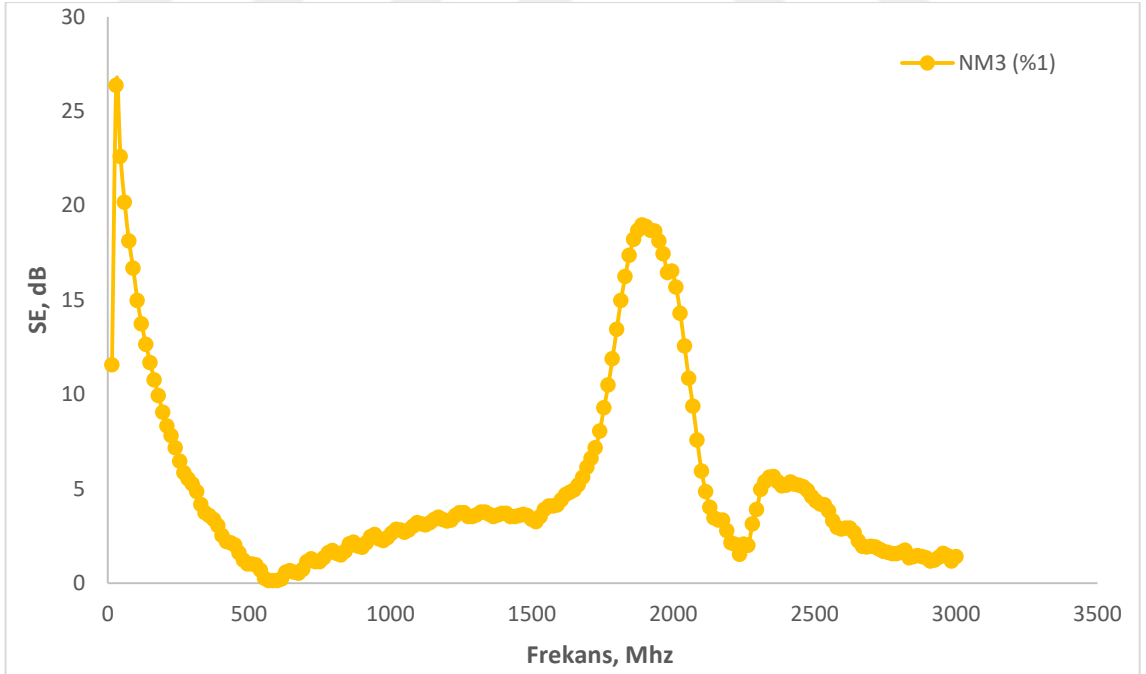
Şekil 5.6. NM1 Numunelerin elektromanyetik kalkanlama grafiği

NM1 kodlu numunenin ekranlama etkinliği değeri, en yüksek 25.44 dB olarak ölçülmüştür.



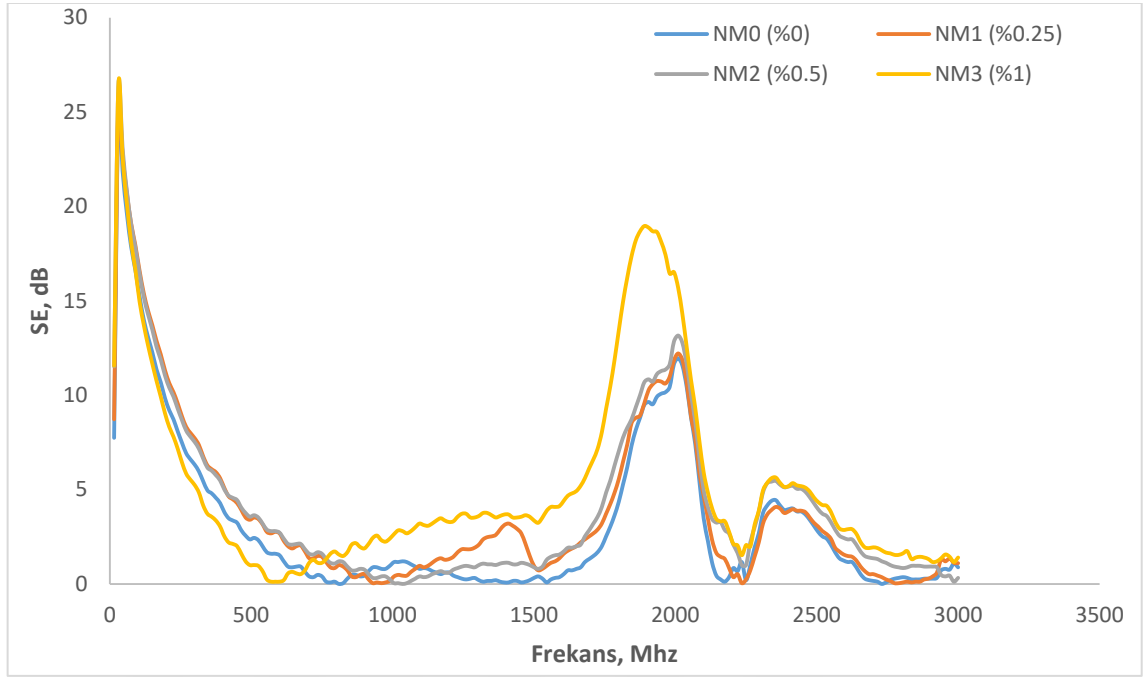
Şekil 5.7. NM2 Numunelerin elektromanyetik kalkanlama grafiği

NM2 kodlu numunenin ekranlama etkinliği değeri, en yüksek 26.36 dB olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.8. NM3 Numunelerin elektromanyetik kalkanlama grafiği

NM3 kodlu numunenin ekranlama etkinliği değeri, en yüksek 26.36 dB olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.9. Tüm numunelerin elektromanyetik kalkanlama grafiği

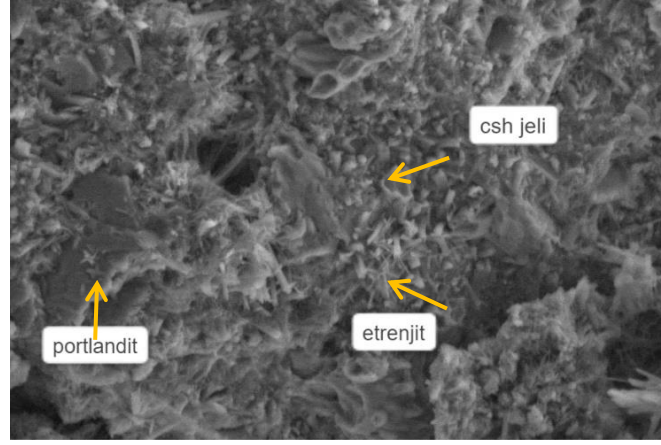
Elektromanyetik kalkanlama etkinliği ölçümünde farklı katkı oranlarında karbon nano tüp ile hazırlanan numunelerin kalkanlamada etkisinin olup olmadığını belirlemek amacıyla numunelere ölçüm yapılmıştır. Numunelerde karbon nano tüp katkılı en iyi elektromanyetik kalkanlama değerini %1 katkılı NM3 numunesinde olduğu görülmüştür. Dolayısıyla karbon nano tüp katkı oranı arttıkça elektromanyetik kalkanlama etkinliği değeri artmaktadır. Numuneler 15-3000 MHz aralığında değerlendirilmiş olup non lineer bir EMSE davranışı grafiklerden görülmektedir. Kalkanlama etkinlik değerinde ilk pik nokta olan 30 Mhz'deki frekansta NM0 kontrol numunesi 25.16 dB değeri ile en düşük kalkanlama etkinliği göstermiştir. 30 MHz frekansta en yüksek kalkanlama etkinlik değerini NM3 numunesi kontrol numunesine göre %4.76 oranında artış ile 26.36 dB değerinde en fazla kalkanlama etkinliği göstermiştir. Katkılı numunelerde kontrol numunesine en yakın sonucu veren NM1 numunesi yani %0.25 katkı oranlı numunelerdir. Bu frekans için kalkanlama sıralaması NM0, NM1, NM2, NM3 olarak sıralanmaktadır. Analog telefonlar 800-900 MHz arasındaki frekanslarda çalışırken, dijital telefonlar 1850-1990 MHz arasındaki frekanslarda çalışmaktadır (Irmak vd., 2002). Analog telefonların çalıştığı frekans aralıklarında NM0 numunesi 0.48 dB, NM1 numunesi 1 dB, NM2 numunesi 1.2 dB ve NM3 numunesi ise 2.16 dB'e kadar kalkanlama elde edilerek en iyi kalkanlamayı NM3 numunesi elde etmiştir. Dijital telefonlarda NM0 numunesi 10.44 dB, NM1 numunesi 8.80 dB, NM2 numunesi 11.64 dB ve NM3 numunesinde ise 18.96 dB ile NM3 numunesi en iyi sonucu vermiştir. Ayrıca evde,

işyerlerinde vs. birçok yerde internetten kolay yoldan faydalanabilmek için 2450 MHz frekansa sahip olan wireless (wifi) elektromanyetik ağları kullanılmaktadır (Saygın, 2009). En iyi sonucu NM3 numunesi %1.00 karbon nano tüp katkılı olan vermiştir.

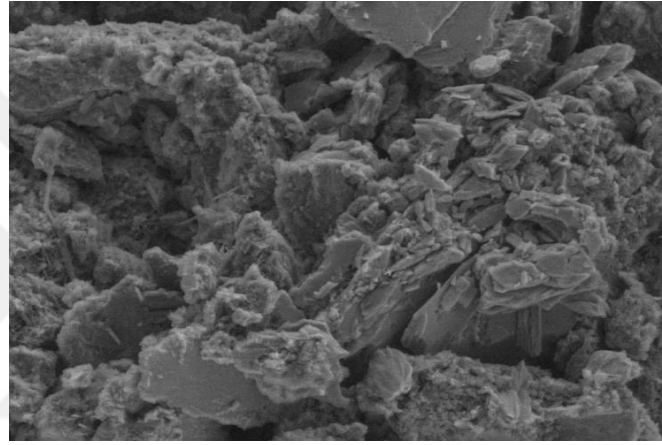
Literatürdeki çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde (Yawen vd., 2010) yapmış olduğu çalışmada ekranlama için siyah karbon malzemesi kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçlarda -14 dB ile -20 dB arasında ekranlama ile karbon nano tüp siyah karbona oranla daha çok ekranlama özelliği gösterdiği elde edilen verilere göre söylenebilir. Öte yandan (Li vd., 2006) yapmış oldukları çalışmada tek duvarlı karbon nano tüp kullanarak 10 MHz-1.5 GHz frekans aralığında 20 dB kalkanlama elde etmişlerdir. Çok duvarlı karbon nano tüp ile yapmış olduğumuz çalışmada ise 15 MHz-3 GHz frekans aralıklarında 26.36 dB ekranlama elde edildiğinden dolayı (Li vd., 2006)'nin yapmış oldukları çalışmaya kıyasla daha iyi ekranlama elde edilmiştir. Submikron grafit partikülleri ile hazırlanmış ve bir çimento macunuyla yapılan bir çalışmada 1 GHz frekansta %0.92 katkı oranında 22 dB kadar kalkanlama etkisine ulaşmışlardır (Cao ve Chung, 2003). Sonuç olarak şimdiye kadar elektromanyetik kalkanlama ile ilgili birçok farklı çalışmalar literatürde yer almaktadır. Yapmış olduğumuz karbon nano tüp katkılı numunelerde diğer çalışmalara oranla başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Günümüzde en önemli konulardan biri olan elektromanyetik kirlilik açısından karbon nano tüpün faydalı olduğu elde edilen veriler ışığında görülmektedir.

5.7 Mikro Yapı İncelemeleri

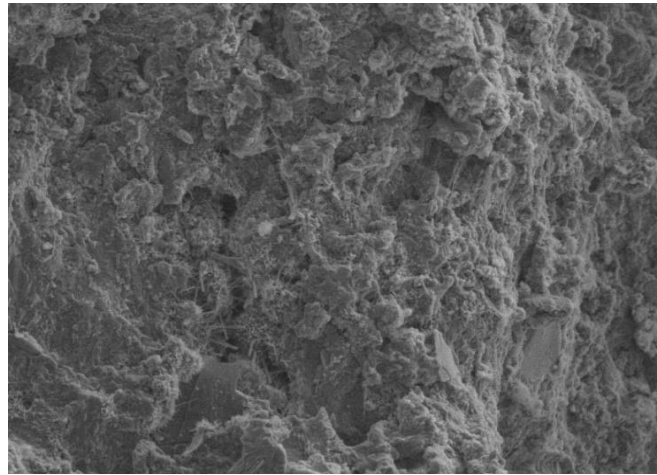
Sem analizi NM0, NM1, NM2, NM3 ve karbon nano tüp için ayrı ayrı yapılmıştır. Sırasıyla sem görüntüleri Şekil 5.10, Şekil 5.11, Şekil 5.12 ve Şekil 5.13 da verilmiştir.



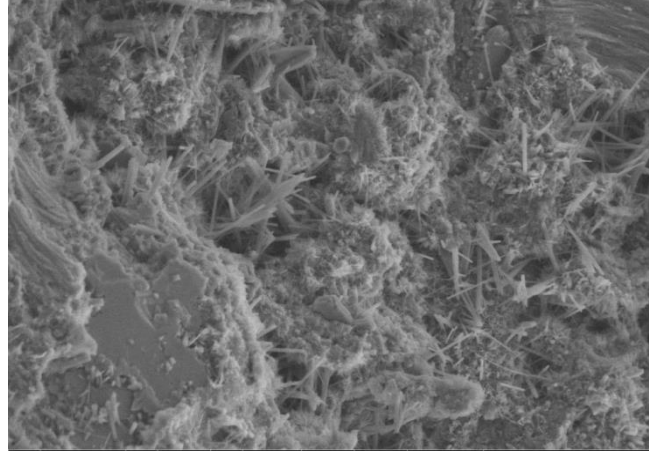
Şekil 5.10. NM0 numunesine ait sem görüntüsü



Şekil 5.11. NM1 numunesine ait sem görüntüsü



Şekil 5.12. NM2 numunesine ait sem görüntüsü



Şekil 5.13. NM3 numunesine ait sem görüntüsü

Şekil 5.10’da portlandit, C-S-H jeli ve etrenjit NM0 kontrol numunesinde yapısal şekilleri gösterilmiştir. Sem görüntülerinde pürüzsüz yüzey gibi görünen yapılar portlandit, iğne gibi ince kıl şeklinde görünen yapılar etrenjit geriye kalan yapılar ise C-S-H jelidir. Portlandit, tipik olarak oksit mineral sınıfına dahil edilen hidroksit içeren bir mineraldir. Kalsiyum hidroksitin doğal olarak oluşan formu ve brusitin kalsiyum analogudur. C-S-H jeli (kalsiyum silikat hidrat) çimentoya bağlayıcılık özelliğini kazandıran ve dayanım kazanmasını sağlayan üründür. Ürünün moleküler büyüklüğü yaklaşık çimento tanesinden 1000 kat daha küçüktür. Hidrate olan ürünlerin yaklaşık %60’ını oluşturur. Etrenjit ise C_3A ’nın hidrate olması sonucu oluşan reaksiyon ürünüdür. Sem görüntüleri detaylı olarak incelendiğinde etrenjit yoğunluğu en az NM0 kontrol numunesindedir. Şekil 5.13’de karbon nano tüp katkı oranı %1 olan NM3 numunesinde ise etrenjit yoğunluğunun arttığı görülmektedir. Karbon nano tüp katkı oranının artışından kaynaklı etrenjit oluşumu karbon nano tüpün puzolanik özelliğinin olduğu kendi başlarına bağlayıcılık değeri olmadığı veya çok az bağlayıcılık değeri olduğu söylenebilmektedir. Bu da dayanımı azaltacağı anlamına gelmektedir. Çizelge 5.3’te de verilen basınç dayanım deney sonuçlarında en düşük dayanımı NM3 numunesinin alması sem görüntülerini desteklemiştir. Ayrıca karbon nano tüp portland çimentosuna göre oldukça küçük tanecikli yapıya sahip oluşu karışımın homojen olup olmadığı noktasında bilgi vermemektedir.

6. SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan karışım kodu NM0, NM1, NM2 ve NM3 numunelerinde çimento, kum ve su oranları sabit tutulup karbon nano tüp katkı yüzdesi sırası ile %0, %0.25, %0.50 ve %1 oranlarında eklenerek değişken olarak hazırlanmıştır. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

Ultrases geçiş hızı deneyinde numunedeki karbon nano tüp katkı oranı arttıkça ses geçiş süresinin arttığı buna bağlı olarak ses geçiş hızının NM0 kontrol numunesindeki 4.27 km/s den NM3 %1 katkılı numunede 3.88 km/s' ye düştüğü tespit edilmiştir. Bundan dolayı karbon nano tüp katkı oranı arttıkça numunedeki boşluk oranının arttığı ultrasonik test cihazında gönderilen ses dalgaların boşluklardan dolayı problemler arasında geç ulaştığı gözlemlenmiştir.

Basınç dayanım deneyinden elde edilen verilere göre NM0 kontrol numunesinde dayanımın en yüksek olduğu, karışım kodu NM3 olan %1 katkı oranındaki numunede en düşük dayanıma sahip olup katkı oranı arttıkça basınç dayanım değerinin düştüğü gözlemlenmiştir.

Karbon nano tüp katkı oranının artmasıyla numunede oluşan boşluk oranı artışı yapılan basınç dayanım değerlerindeki düşmenin kanıtı olarak gösterilebilir. Aynı zamanda eğilme dayanımında ciddi düşüş olmamakla birlikte azalış gözlemlenmiştir.

Su emme deneyinde etüvde ve suda bekletildikten sonra numunelerden tartım alınarak su emme yüzdeleri karşılaştırılmıştır. Boşluk oranı en fazla olan %1 katkılı NM3 numunesinde su emme yüzdesinin de %8.1 olarak en fazla olduğu yapılan çalışmayı desteklemektedir.

Sem analizi görüntüleri incelendiğinde karbon nano tüp malzemesinin artışı ile etrenjit oluşumunun artışı ile istenmeyen bir durum gözlemlenmiştir.

Elektromanyetik kalkanlama etkinliği ölçümünde ise 15 MHz–3000 MHz frekans değerlerine maruz bırakılıp katkı oranının artmasıyla kalkanlamanın (dB) arttığı gözlemlenmiştir. %1 katkılı NM3 numunesinde 1890 MHz de 18.96 dB, %0.5 katkılı NM2 numunesinde 2040 MHz de 11.64 dB, %0.25 katkılı NM1 numunesinde 1860 MHz de 8.80 dB kalkanlama sağlanmıştır. Karbon nano tüp kullanımı kalkanlama etkinliğini arttırmaktadır. 30 Mhz'deki frekansta NM0 kontrol numunesi 25.16 dB değeri ile en düşük kalkanlama

etkinliği göstermiştir. 30 MHz frekansta en yüksek kalkanlama etkinlik değerini NM3 numunesi kontrol numunesine göre %4.76 oranında artış ile 26.36 dB değerinde en fazla kalkanlama etkinliği göstermiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde ekranlama performansı olarak yeterli derecede kalkanlama elde edilmiş karbon nano tüp oranı kalkanlama etkisini artırdığı sonucuna varılmıştır. Literatürde yer alan diğer çalışmaların bazılarında daha iyi bir sonuç elde edildiği gözlemlenmiştir.



KAYNAKLAR

- Arora, S. and Kaur, R. (2013). Stealth technology and counter stealth radars: a review. *Research Inventy: International Journal Of Engineering And Science*, 3(12),15-19.
- ASTM. ASTM C642. Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. Philadelphia, PA: ASTM; 2001.
- ASTM, D4935-10 Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials, ASTM
- Ayhan, A. (2004). Yeni Bir Teknolojik Çağın Kapısı Aralanırken: Nanoteknoloji, İpek Yolu Dergisi, Konya.
- Baoyi, L., Yuping, D., Yuefang, Z. and Shunhua, L. (2011). Electromagnetic wave absorption properties of cement-based composites filled with porous materials. *Materials & Design*, 32(5), 3017-3020.
- Baykara, T., Günay, V. ve Musluoğlu, E. (2010). Nanoteknoloji ve Nano-Malzeme Süreçleri, Tübitak Mam Malzeme Enstitüsü, Ankara.
- Bozkaya, Y. (2006a). Nanoteknoloji ve uygulamaları. İleri Teknolojiler Araştırma Birimi, Anadolu Üniversitesi, <http://www.robotlar.com/Nanoteknoloji>.
- Bozoğlu Demirdöven, J. ve Arditi, D. (2012). Yapılarda ve Yapım Yönetiminde Nanoteknoloji Uygulamaları. 2. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi, Urla-İzmir, 1-12.
- Bozzetti, M., Pisu, L., Sarto, M. S. and Greco, S. (2011). Shielding performance of an expanded copper foil over a wide frequency range. In 10th International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 46-51. IEEE.
- Bugaj, M. (2014). Attenuation Measurements of Materials Used in Construction of Buildings. In PIERS Proceedings.
- Candemir, B., Beyhan, B. ve Karaata, S. (2012). İnşaat Sektöründe Sürdürülebilirlik: Yeşil Binalar ve Nanoteknoloji Stratejileri. İstanbul: İMSAD ve TÜSİAD, 55-79.
- Cao, J., and Chung, D. D. L. (2003). Colloidal graphite as an admixture in cement and as a coating on cement for electromagnetic interference shielding. *Cement and Concrete Research*, 33(11), 1737-1740.
- Celozzi, S. and Araneo, R. (2005). Electromagnetic shielding. *Encyclopedia of RF and Microwave Engineering*.
- Chao, G. A. O. and Yang, B. A. I. (2015). Aircraft radar stealth test and evaluation technology and progress. *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 41 (10), 1873-1879.
- Cheng, K. B., Ramakrishna, S. and Lee, K. C. (2000). "Electromagnetic Shielding Effectiveness of Copper/Glass Fiber Knitted Fabric Reinforced Polypropylene Composites", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 31 (10). 1039-1045.

- Çeken, F., Erdoğan, Ü. H., Kayacan, O. and Uğurlu, Ş. S. (2012). Electromagnetic Shielding Efficiency Of Nonwoven İnsulation Panels Designed With Recycled Textiles And Copper Wires, *Journal of The Textile Institute*, 103(6), 669-675.
- Demirkurt, A., Dayık, M. ve Cakmak, E. (2014). Bor Aplike Edilmiş Kumaşların Radyasyon Önleyici Özelliklerinin İncelenmesi, *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(3), 10-19.
- Demiröz, Y. (2020). Kahramanmaraş'ın Türkoğlu İlçesinde Elektromanyetik Kirlilik Düzeyinin Ölçümü ve Bazı Duvar Kâğıtlarının Soğurma ve Yansıma Kapasitelerinin Araştırılması, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı ss:103.
- Duan, Y., Liu, S. and Guan, H. (2005). Investigation of electrical conductivity and electromagnetic shielding effectiveness of polyaniline composite. *Science and Technology of Advanced Materials*, 6(5), 513.
- Erkoç, Ş. (2007). Nanobilim ve Nanoteknoloji, ODTÜ Yayıncılık, 107s, Ankara.
- Gac, F. D., Young Jr, A. T. and Migliori, A. (1996). Technical evaluation of Russian aircraft stealth coating and structural materials (No. LA-UR-96-3227). Los Alamos National Lab., NM (United States).
- Geetha, S., Satheesh Kumar, K. K., Rao, C. R., Vijayan, M. and Trivedi, D. C. (2009). EMI shielding: Methods and materials—A review. *Journal of applied polymer science*, 112(4), 2073- 2086.
- Guan, H., Liu, S., Duan, Y. and Zhao, Y. (2007). Investigation of the electromagnetic characteristics of cement based composites filled with EPS. *Cement and concrete composites*, 29(1), 49-54.
- Hosokawa, M., Nanoparticle technology handbook, Elsevier, 622s, Amsterdam, 2007.
- İrmak, M. K., Fadillioğlu, E., Guleç, M., Erdogan, H., Yagmurca, M. and Akyol, O. (2002). Effects of electromagnetic radiation from a cellular telephone on the oxidant and antioxidant levels in rabbits. *Cell Biochem Funct* 20:279-83.
- Kavun, Y. (2019). Examination of Radiation Absorption Properties of Pb(NO₃)₂ Doped Wallpapers, *BEU Journal of Science* 8, 1-6.
- Khushnood, R. A., Ahmad, S., Restuccia, L., Spoto, C., Jagdale, P., Tulliani, J. M. and Ferro, G. A. (2016). Carbonized nano/microparticles for enhanced mechanical properties and electromagnetic interference shielding of cementitious materials, *Frontiers of Structural and Civil Engineering* 10, 209-213.
- Köksal, F. ve Köseoğlu, R. (2014). Nanobilim ve Nanoteknoloji, Nobel Akademik Yayıncılık, 351s, Ankara.
- Liangliang, C., Kuizhi, Y., Weigang, G. and Dazhao, Y. (2016). Integration Analysis of Conceptual Design and Stealth-Aerodynamic Characteristics of Combat Aircraft. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 8(1), 40-48.

- Li, N., Huang, Y., Du, F., He, X., Lin, X., Gao, H. and Eklund, P. C. (2006). Electromagnetic interference (EMI) shielding of single-walled carbon nanotube epoxy composites, *Nano letters*, 6(6), 1141-1145. doi: 10.1021/nl0602589.
- Liu, P. S. and Cui, G. (2015). Characterization of the electromagnetic shielding and compressive behavior of a highly porous titanium foam with spherical pores. *Journal of Materials Research*, 30(22), 3510- 3517.
- Lu, L., He, Y., Ping, B., Wang, F. and Hu, S. (2017). TiO₂ containing electromagnetic wave absorbing aggregate and its application in concrete, *Construction Building Materials* 134: 602-609.
- Luo, X. and Chung, D. D. L. (1999). Electromagnetic Interference Shielding Using Continuous Carbon-Fiber, Carbon- Matrix and Polymer-Matrix Composites, *Composites Part B*, 30(3), pp. 227-231.
- Melvin, G. J. H., Ni, Q. Q. and Wang, Z. (2017). Performance of barium titanate@ carbon nanotube nanocomposite as an electromagnetic wave absorber, *Physica Status Solidi (a)*, 214(2). doi: 10.1002/pssa.201600541
- Nayak, L., Chaki, T. K. and Khashtgir, D. (2014) . Electrical Percolation Behavior and Electromagnetic Shielding Effectiveness of Polyimide Nanocomposites Filled with Carbon Nanofibers, *Journal of Applied Polymer Science*, 131: 1–12.
- Neville, A. M. (1996). *Properties of Concrete*, 4th edition. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Ramsden, J. (2011) ; çeviren Alper İnce. *Nanoteknolojinin esasları*, ODTÜ Yayıncılık, 156s, Ankara.
- Safarova, V. and Militky, J. (2011). Development of a hybrid electromagnetic shielding fabric. In 18th international conference on composite materials, 21- 26.
- Saygın, M. (2009). 2450 MHz Dalga Frekanslı Elektromanyetik Alanın Sıçanların Testislerinde Oluşturduğu Fizyopatolojik ve Yapısal Değişikliklerin Araştırılması.
- Sev, A. ve Ezel, M. (2014). Nanotechnology Innovations for the Sustainable Buildings of the Future. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*, 8 (8), 886-896.
- Sevgi, L. (2000), *Elektromanyetik Uyumluluk Elektromanyetik Kirlilik*, EMO İstanbul.
- Şeker, S. ve Çerezci, O. (2000). *Radyasyon Kuşatması*, Boğaziçi Üni. Yayınevi İstanbul.
- Tong, X. C. (2009). *Advanced Materials and Design for Electromagnetic Interference Shielding*, p. 42: CRC Press.
- TS EN 12350-1 (2002). *Beton-Taze Beton Deneylemleri, Bölüm 1: Numune Alma*
- TS EN 196-1 (2016). *Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- TS EN 197-1 (2012). Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri
- TS EN 12504-4 (2012). Beton deneyleri - Bölüm 4: Ultrasonik atımlı dalga hızının tayini
- Wen, S. and Chung, D. D. L. (2004). Electromagnetic interference shielding reaching 70 dB in steel fiber cement. *Cement and Concrete Research*, 34(2), 329-332.
- Wolfgang Fritzsche, K., *Nanotechnology : an introduction to nanostructuring techniques*, Wiley-VCH, 272s, Weinheim, 2004.
- Yawen, D., Mingqing, S., Chenguo, L. and Zhuoqiu, L. (2010). Electromagnetic wave absorbing characteristics of carbon black cement-based composites. *Cement and Concrete Composites*, 32(7), 508- 513.
- Yılmaz, R. (2014). Elektromanyetik kalkanlama özelliği olan malzemeler. *Ejovoc (Electronic Journal of Vocational Colleges)*, 4(1), 136-150.
- Zhu, X., Li, X. and Sun, B. (2012). Study On Electromagnetic Shielding Efficacy of Knitting Clothing, *Przegląd Elektrotechniczny*, 88(3B), pp. 42-43.
- Zhu, W., Bartos, P. J. M. and Porro, A. (2004). Application of Nanotechnology in Construction. *Materials and Structures*, 37, 649-658.